Röntgenkinematographische Analysen der Duodenalbewegungen

von
Hans Grosse-Wilde, Bottrop.

1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546009_0037

Aus
Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie
der Universität München - Rieder-Institut -
Direktor: Prof. Dr. med. H. von Braunbehrens

Röntgenkinematographische Analysen der Duodenalbewegungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin verfaßt
und einer Hohen Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilian Universität
München vorgelegt

von
Hans Grosse-Wilde, Bottrop.

München 1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. F. E. Stieve
Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. v. Braunbehrens
Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 12. Mai 1971

Röntgenkinematographische Analysen der Duodenalbewegungen

Gliederung

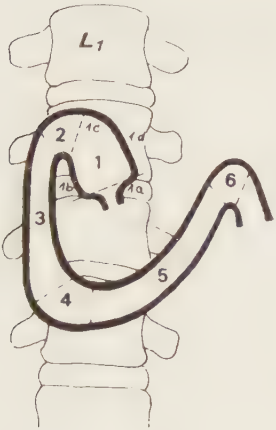
1. Thematik
2. Topographie
3. Anatomie
4. Physiologie
   a) Duodenum als Steuerorgan
   b) Resorptions- und Sekretionsleistung des Duodenum
5. Physiologie der Peristaltik
   a) Elektrophysiologie, nervöse Versorgung, Reflexapparat
   b) Mechanik von Segmentation und peristaltischer Welle
   c) "Antiperistaltik"
6. Besonderheiten der Duodenalmotorik
   a) Bulbus
   b) restliches Duodenum
   c) "Duodenalsphinkteren"
   d) bulbo-gastrischer Reflux
7. Möglichkeiten radiologischer Bewegungsaufzeichnung
   a) Polygraphie
   b) Kymographie
   c) Serienaufnahmen
   d) Kinematographie
8. Methoden der Röntgenkinofilmauswertung
   a) Physiologie der Betrachtung
   b) qualitative Auswertung
   c) quantitative Auswertung
9. Aufnahmetechnik
   a) Röntgenapparatur
   b) kinematographische Ausrüstung
   c) Zeitmessung
   d) Wegmessung
   e) Filmmaterial und -verarbeitung
   f) Methode der Kontrastmitteldarstellung
10. Apparatur zur Filmanalyse
11. Technik der Zeichenauswertung
12. Ergebnisse
    a) absolute Geschwindigkeiten
    b) Bewegungsformen
    c) pathologische Bewegungen
13. Diskussion der Ergebnisse
14. Zusammenfassung
15. Literaturverzeichnis

Röntgenkinematographische Analysen der Duodenalbewegungen

1. Die Kinematographie gehört zweifellose zu den besten und elegantesten Methoden sichtbare Bewegungsabläufe exakt darzustellen. Auch in der Röntgenologie hat es schon sehr früh Versuche mit der Kinematographie gegeben (RIEDER). Aber erst durch den Einsatz der Bildverstärker hat sich die Röntgenkinematographie außer zu wissenschaftlichen Untersuchungen auch in der Routinediagnostik durchgesetzt (JANKER).

   Hier soll nun der Versuch unternommen werden, mit Hilfe der Röntgenkinematographie bei Kontrastmitteluntersuchungen des Magendarmkanals und spezieller Auswertetechniken über die Bewegungsvorgänge am menschlichen Duodenum Aufschluß zu erhalten und über die hier auftretenden, meßbaren Geschwindigkeiten genaue Werte zu finden. Weiterhin soll untersucht werden, ob bestimmte Bewegungsformen und -abläufe für bestimmte Krankheitsbilder typisch sind.

2. Topographie



1 Bulbus
1a Basis
1b Majorseite
1c Spitze
1d Minorseite
2 Oberes Knie
3 Pars descendens
4 Unteres Knie
5 Pars ascendens
6 Flex. duodeno-jejunalis

Abb.1

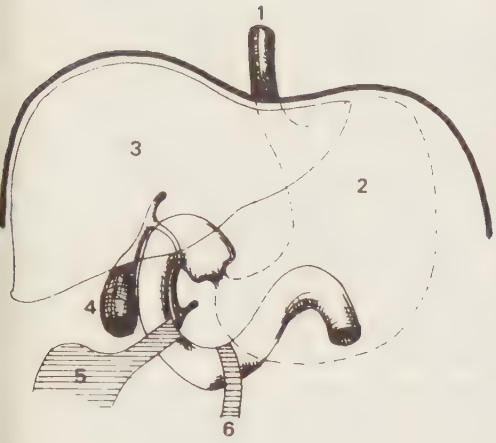
Das menschliche Duodenum ist etwa 25 cm lang und stellt das Überleitungsstück zwischen Magen und Dünndarm dar. Gewöhnlich wird in der Radiologie das Duodenum in 6 Abschnitte eingeteilt (vgl. Abb. 1).

Entwicklungsgeschichtlich stammen Magen und Bulbus duodeni aus der gastro-kolischen und das übrige Duodenum, der Dünndarm und der erste Teil des Kolon aus der entero-kolischen Schlinge (BARDEEN). Nach der Intestinalrotation gelangt das Duodenum in seine endgültige zentrale Lage im Oberbauch mit wichtigen topographischen Beziehungen zu Nachbarorganen.

Der größte Teil des Duodenum liegt in der rechten Oberbauchgrube. Die Pars ascendens zieht in einem schräg nach oben gerichteten Verlauf etwa in Höhe von L2/3 über die Wirbelsäule hinweg, sodaß die Flexura duodeno-jejunalis in die linke Oberbauchgrube zu liegen kommt.

Abb.2

1 Aorta abdominalis
2 V. cava inferior
3 V. portae
4 Pankreas
5 re. Niere
6 li. Niere
7 A. mesenterica sup.
8 5. LWK



Oesophagus
Magen
Leber
Gallenblase
Lig. duodeno-colicum
Mesenterialwurzel

Abb. 3

Tatsächlich ist das Duodenum nicht in einer Frontalebene eingestellt, sondern läßt sich z. B. bei der Durchleuchtung erst nach Drehung des Patienten in den ersten schrägen Durchmesser in ganzer Ausdehnung darstellen. Mit Ausnahme des Bulbus liegt das ganze Duodenum sekundär retroperitoneal. Der Bulbus unterscheidet sich außerdem in Form, Lumenweite, Schleimhautanordnung und Motorik vom übrigen Duodenum. Von einigen Autoren wird er als funktionelle Einheit bzw. als eher zum Magen gehörig vom restlichen Duodenum getrennt (HOLZKNECHT, NIEDNER, KLEF).

Die nach medial oben offene sog. C-Schlinge des Duodenum umfaßt Kopf und Teile des Pankreaskörpers, wobei besonders der Pankreaskopf mit der Pars descendens innig verwachsen ist. Durch die entwicklungsgeschichtliche dorsale und ventrale Pankreasanlage befinden sich häufig Pankreaskopfteile hinter dem dorsalen Umfang der Pars descendens. In extremen Fällen kann es hier zur vollständigen Ummauerung kommen (sog. Pankreas annulare) mit Lumeneinengung und Motilitätsstörungen an dieser Stelle.

Nach vorne oben liegen dem Bulbus und dem oberen Duodenalknie die Gallenblase und Teile der Unterfläche des re. Leberlappens und des Lobus quadratus auf. Vom oberen Duodenalknie zieht das Lig. hepatoduodenale zur Leberpforte. Im Ligament verlaufen von lateral nach medial der Ductus choledochus als Vereinigung von D. cysticus und D. hepaticus communis, die V. portae und die A. hepatica propria. Der D. choledochus kreuzt dorsal das obere Duodenalknie und verläuft dann in einer Rinne zwischen Pankreaskopf und Duodenum zur Papilla duodeni major (Papilla VATERI), in die auch der Ductus pancreaticus major mündet. Die Papilla duodeni major ist eine Erhebung am Ende der Plica longitudinalis duodeni, die nur selten im Röntgenbild sichtbar wird. Sie befindet sich meist etwas oberhalb der Mitte der Pars descendens. Nebenstehende Abb. zeigt die Häufigkeitsverteilung des Sitzes der Papilla VATERI. In einer oberhalb der Papilla duodeni major gelegenen Öffnung, Papilla duodeni minor, mündet meistens der D. pancreaticus accessorius (minor).

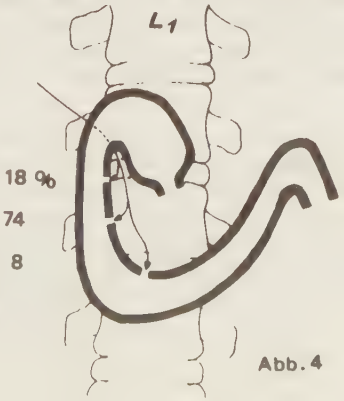


Abb. 4

Die Pars descendens hat weiterhin nach dorsal eine enge Beziehung zum oberen Pol und Sinus der re. Niere sowie zum Ureter dieser Seite. Am ventralen Umfang der Pars descendens setzt am Übergang

vom mittleren zum unteren Drittel das Mesocolon ascendens als Lig. duodeno-colicum an. In vielen Fällen liegt direkt vor der Pars descendens die rechte Kolonflexur. Das Untere Duodenalknie liegt gewöhnlich direkt der V. cava inferior auf.

Etwa in der Mitte der Pars ascendens setzt am ventralen Umfang die Radix mesenterii mit ihren oberen Anteilen an, in die die Mesenterialgefäße eintreten, wobei die A. mesenterica sup. links von der Vene liegt. Die A. mesenterica sup. entspringt hinter dem Pankreas aus der Aorta abdominalis und verläuft mit der V. mesenterica sup. in einer Rinne auf der Dorsalseite des Pankreas, um dann die Pars ascendens duodeni ventral zu kreuzen. So gerät dieser Duodenalabschnitt zwischen die Schenkel eines in sagittaler Ebene eingestellten, nach unten offenen V, dessen hinterer Schenkel von der Bauchaorta und dessen vorderer von den Mesenterialgefäßen gebildet wird.

Mit der Flex. duodeno-jejunalis geht das Duodenum spitzwinklig (meist etwa 70°) in das Jejunum über. Die Lage der Flexur variiert beim Menschen nicht sehr und befindet sich nach GOLDEN 2.5 bis 5 cm li. der Wirbelsäule in Höhe des Proc. transversus des 2. LWK. Die Fixierung geschieht einmal durch die retroperitoneale Lage des Duodenum und durch das TREITZsche Band (= M. suspensorius duodeni), das vom Crus sinister des Zwerchfells nahe dem Hiatus aorticus zur Oberkante der Flexur und zum Endteil der Pars ascendens zieht. Teile des Ligaments strahlen ins Mesenterium ein.

BAUERMEISTER vermutet, daß der TREITZsche Muskel eine atavistische Abklemmvorrichtung darstellt. SAUVEGRAIN bezeichnet die Flex. duodeno-jejunalis als "un point de non-retour", als die Stelle, von der ab ein Reflux von Kontrastbrei oder Speisen ungewöhnlich ist.

3. Anatomie

Histo-anatomisch läßt sich das Duodenum in 4 Wandschichten einteilen:
1. Mucosa mit Muscularis mucosae
2. Submucosa
3. Muscularis
4. Serosa

Für das Duodenum sind die KERCKRINGschen Falten - die dem Bulbus noch fehlen - und die Glandulae duodenales (BRUNNERschen Drüsen) charakteristisch, deren Ausbreitungsgebiet vom Pylorus bis über die Flex. duodeno-jejunalis hinaus reicht. Am Aufbau der Plicae circulares KERCKRINGii beteiligen sich Mucosa mit Muscularis mucosae und die Submucosa. Sie können bis zu 12 mm tief ins Darmlumen hineinragen. Zur weiteren Oberflächenvergrößerung sind die Falten mit Darmzotten, Villi intestinales, besetzt.

Für die Bewegungen der Schleimhaut ist die Muscularis mucosae verantwortlich, die aus 2 Muskelschichten besteht. Die Muskelfasern strahlen z.T. in die Zotten ein und pressen bei Kontraktion den Chylus aus dem zentralen Lymphgefäß in die Lymphbahn (sog. Zottenpumpe). Die innere Muskelschicht ist dicker und hat zirkulären Verlauf, während die äußere, locker gefügte Schicht mehr parallel zur Längsachse verläuft. Beide Schichten bilden je nach Kontraktionszustand ein mehr oder weniger sich überkreuzendes Spiralsystem.

Die Muscularis mucosae wird häufig von den in der Submucosa dicht gepackten Gldd. duodenales durchbrochen, die zwischen die Zotten münden. Sie gehören zur Gruppe der mukoiden Drüsen und produzieren einen erheblichen Teil des Duodenalsaftes. Ihr Sekret enthält u. a. proteolytische und kohlehydratspaltende Fermente, sowie das Enzym Enterokinase.

Zum Verständnis der Darmbewegungen besonders der Peristaltik ist die Kenntnis der Konstruktion der Darmwand von großer Bedeutung. Seit den grundlegenden anatomischen Untersuchungen von GOERTTLER weiß man, daß Submucosa und Muscularis eine funktionelle Einheit bilden. In beiden ist ein Raumgitter aus in ihrer Längsachse undehnbaren, kollagenen Bindegewebsfasern ausgespannt. In den Maschen dieses Raumgitters befinden sich in der Submucosa zahlreiche Blutgefäße, Lymphgefäße, Fettgewebe und das Nervennetz des Plexus submucosus und in der Muscularis die Muskelfaszikel der Ring- und Längsmuskulatur mit dem Plexus myentericus dazwischen.

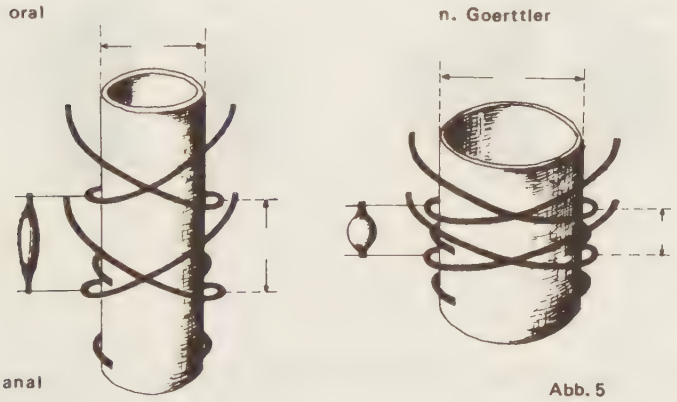


Abb. 5

Wie Abb. 5 zeigt, sind die Kollagenfasern im Dünndarm polar orientiert. Sie verlaufen von oben außen nach unten innen in einer Windung um die Darmlängsachse. Im Gegensatz zum Dünndarm hat der Dickdarm einen apolaren Bau. Man kann dieses Bindegewebsgerüst als das Skelett des Darms auffassen mit einer Führungs- und Hemmfunktion für die an ihr angreifende Ring- und Längsmuskulatur.

Die Gitterstruktur der Bindegewebsfasern wurde vor GOERTTLER schon von CLASON und MALL erkannt. Doch nahmen sie eine rein flächenhafte, in einer Ebene ausgespannte Textur der Bindegewebsfasern an.

CAREY erklärte den im Querschnitt als Ring- und Längsmuskulatur imponierenden Darmmuskel durch eine verschiedene Ganghöhe der in einem Schneckengewinde verlaufenden Außen- und Innenschicht.

Im Gegensatz dazu fanden BRAUS wie GOERTTLER vollständig geschlossene Muskelringe und exakt der Längsachse parallel laufende Muskelbündel sowie einen zur Ausrichtungsachse dieser Ring- und Längsmuskulatur schrägen Verlauf der Bindegewebsfasern des Raumgitters. Hierin

sieht GOERTTLER das entscheidende Bauprinzip der Darmwand, da die Gitterstruktur bei Erweiterung des Darmlumens eine Umorientierung der Kollagenfasern durch Verminderung ihrer Ganghöhe verlangt. Dieser Vorgang (Lumenerweiterung) hat zwangsläufig eine Verkürzung des gedehnten Darmstücks zur Folge; umgekehrtes geschieht bei Lumenverengerung.

Die zweite wichtige Tatsache zum Verständnis der Darmmotorik fand GOERTTLER in der Anordnung der Ringmuskelsegmente. Bedingt durch die polar ausgerichteten Bindegewebszüge sind im ruhenden Darm die Ringmuskelsegmente dachziegelartig übereinander angeordnet. Bei Kontraktion steilen sich die Segmente auf. Sie stehen dann nahezu quer zur Längsachse, wodurch sich die Darmwand insgesamt verdickt (Abb. 6).

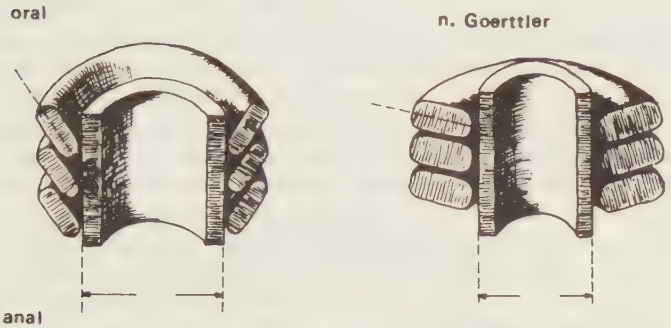


Abb. 6

Überhaupt ist eine Radiärumstellung der Segmente nur auf zwei Wegen möglich:
entweder verengert sich die innere Ringkontur bei gleichweitem Außenrand oder die Außenkontur wird bei gleichgroßem Innenrand weiter. Das erste ist besonders bei der Kontraktion der Ringmuskelsegmente der Fall, das zweite beim Aufsteilen der Muskelringe durch den Zug von analwärts gelegenen sich kontrahierenden Längsmuskelpartien.

GOERTTLER vergleicht die Darmwand mit zwei ineinander gepassten Röhren. Das innere Rohr (Mucosa und Muscularis mucosae) liegt dem Darminhalt dicht an, während das Außenrohr (Muscularis und Serosa) über das Innenrohr hinweggleiten kann, da die verhältnismäßig locker gefügte Submucosa als Gleitschicht eine Verschiebung ermöglicht. Aus der oben beschriebenen polaren Gitterstruktur ist sofort verständlich, daß eine Verschiebung des Mantelrohres nur analwärts möglich ist, da die Kollagentextur sich einer oralwärts gerichteten Verschiebung widersetzt. Aus demselben Grund muß sich für eine Längsmuskelkontraktion das Punctum fixum immer am analen Ende der sich kontrahierenden Muskelabschnitte befinden, um einen Effekt zu haben.

Die äußere Umhüllung der Darmwand bilden ein Kollagenfasergitter - sog. subseröses Bindegewebe - und das Deckepithel der Serosa. Die

Kollagenfasern umgeben die Darmachse spiralig und kreuzen sich am ruhenden Darm etwa rechtwinklig. Teile der Fasern ziehen schraubenförmig in die Muscularis und beteiligen sich an der Umscheidung der Muskelfasern. Nach BARGMANN läßt sich mikroskopisch eine Dreischichtung unter dem Serosaepithel erkennen: von außen nach innen findet man eine dünne Deckschicht aus feinen Kollagenfäserchen, eine Lage elastischer Fasern und als dritte Schicht eine verhältnismäßig dicke Grundschicht von Kollagenfasern. Die elastischen Fasern verlaufen annähernd parallel zur Längs- und Querachse des Darms.

Die Anordnung der Kollagen- und elastischen Fasern läßt den Schluß zu, daß die Serosa besonders mechanische Bedeutung hat, indem sie die bei Dehnung der Darmwand auftretenden Spannungen auffängt.

4. Physiologie

a) - Duodenum als Steuerorgan -

Am Anfang dieses Jahrhunderts haben PAVLOV und sein Mitarbeiter SOKOLOV auf die zentrale Funktion des Duodenum zur Steuerung von Verdauung und Resorption hingewiesen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll nur ein schematischer Abriß der duodenalen Steuerfunktion - besonders im Hinblick auf die Motorik - gegeben werden. Vereinfacht besitzt das Steuerorgan Duodenum vier Effektoren:

1. Magen mit Motilität und Sekretion
2. Gallenblase mit Leber und Sphinkter ODDI
3. Pankreas mit Enzym- und Bikarbonatsekretion
4. Dünndarm mit Motilität und Sekretion

Die wichtigsten Reizqualitäten, auf die das Duodenum mit nervalen und/oder humoralen Mechanismen (Mediatoren) antwortet, sind:

1. Distension
2. pH-Wert
3. Osmolarität
4. Fett
5. Eiweiß
6. Kohlehydrat

Die Mediatoren einer duodenalen Antwort sind:

a) nerval : intramuraler Reflexbogen
entero-gastrischer Reflexbogen

b) humoral:

1. Enterokrinin	5. Cholecystokinin
2. Enterogastron	6. Hepatokrinin
3. Sekretin	7. Villikinin
4. Pankreozymin	8. Histamin-Hemmhormon

Im einzelnen reagiert das Duodenum folgendermaßen:

Distension
Die Erregung von Mechanorezeptoren (pressure sensing system) in der Duodenalwand führt über den entero-gastrischen Reflex zu einer Verminderung der Magenmotilität (DAVENPORT). Mit einer Latenzzeit von etwa 10 - 30 min kommt es durch die Freisetzung von Enterokrinin (NASSET) zur Erhöhung der Magensekretion (sog. intestinale Phase der

Magensekretion). Nach JORDAN ist an dieser Phase nicht allein Enterokrinin beteiligt, sondern es besteht ein Synergismus zwischen antralem Gastrin und Enterokrinin.

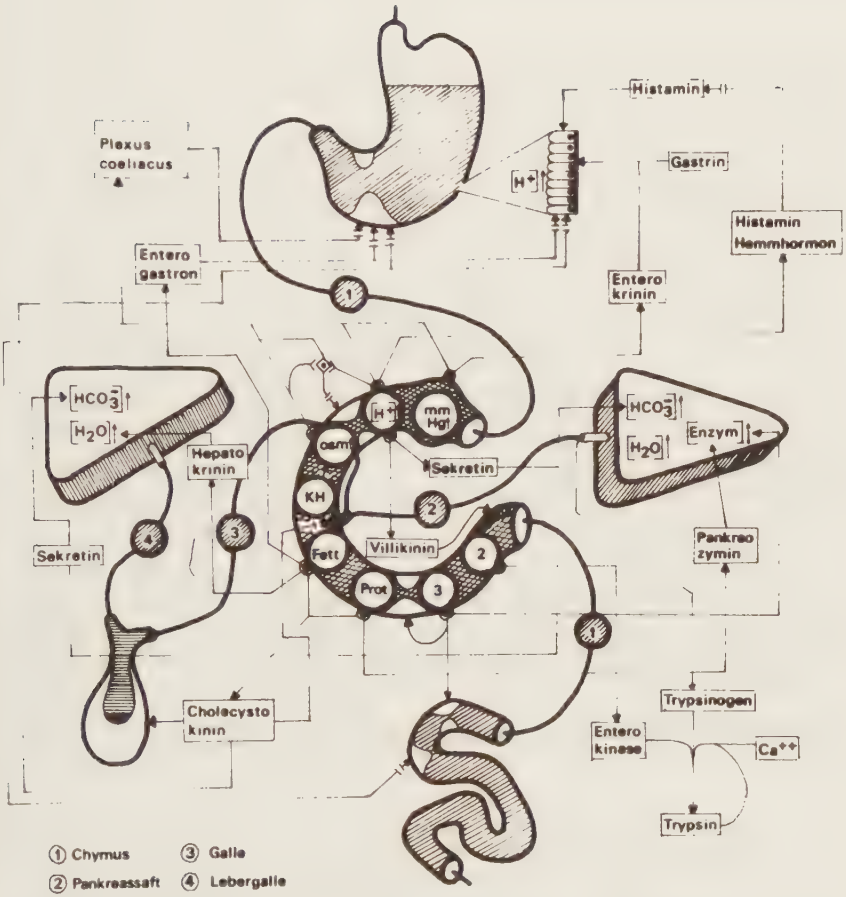
Ansäuerung
Zwei Reflexbögen reagieren nach DAVENPORT auf eine Erniedrigung des pH-Wertes im Duodenum: die Erregung von Chemorezeptoren in der Duodenalmucosa führt über den entero-gastrischen Reflex zu einer Hemmung der Magenmotorik und über einen intramuralen Reflex zur Hemmung der propulsiven Aktivität des Duodenum und Dünndarms.
Sinkt der duodenale pH-Wert - besonders der des Bulbus - unter 2.5 (PINCUS), so kommt es zur Verminderung der Säure- und Pepsinsekretion des Magens. Nach THOMPSTON handelt es sich um die Wirkung eines von der Duodenalschleimhaut abgegebenen Histamin-Hemmhormons. Weiterhin wird Sekretin freigesetzt, das neben der Steigerung der Bikarbonat- und Pankreassaftsekretion (Hydrochylus) den Bikarbonatgehalt der Lebergalle steigert und die Magensekretion hemmt. Eine gesteigerte Zottenmotilität nach Ansäuerung des Duodenum ist auf die Ausschüttung von Villikinin zurückzuführen.

Hypertone Lösungen
Schon CARNOT und CHASSEVANT forderten 1905 die Existenz von Osmorezeptoren, da hyperosmolare Lösungen im Duodenum die Magenfunktion hemmen. DAVENPORT beschreibt dies als entero-gastrischen Reflex mit Hemmung der Magenmotilität, ausgelöst durch Reiz der Osmorezeptoren. HUNT vertritt die Ansicht, daß die Hemmung der Magenfunktion durch einen humoralen Stoff aus der Duodenal- und oberen Jejunalschleimhaut übertragen wird.

Fett
Die Hemmung der Magenfunktion durch Fett im Duodenum ist nach MENGUY an das gleichzeitige Vorhandensein von Galle und Pankreassaft gekoppelt. Dies bestätigen auch die Untersuchungen von MORGAN. Nach ihm ist erst eine genügend hohe Konzentration von freien Fettsäuren im Duodenum für die Hemmung des Magens verantwortlich.
Humorale Mediatoren sind: Enterogastron (KOSAKA, LIM), das die Magenmotorik und -sekretion hemmt, Cholecystokinin, das - neben einer Enterogastronwirkung - die Gallenblase zur Kontraktion und nach CHOCOLAC den Sphinkter ODDI zur Erschlaffung anregt, und Hepatokrinin, das eine Hydrocholerese, eine Volumensteigerung der Lebergalle, auslöst.

Eiweiß
Bei Kontakt mit Pepton, Peptiden oder Aminosäuren wird aus dem unteren Duodenum und Jejunum das Gewebshormon Pankreozymin freigesetzt. Pankreozymin - evtl. identisch mit Cholecystokinin - bewirkt eine Steigerung der Enzymsekretion des Pankreas (Proteochylus).

Kohlehydrat
Wahrscheinlich kommt es auf dem Umweg über nach Kohlehydratspaltung kurzzeitig entstehende hypertone Lösungen zu einem Reiz der Osmorezeptoren (SIRCUS), der auf den bei Hyperosmolarität beschriebenen Weg zur Hemmung der Magensekretion und -motorik führt. Für diesen Mechanismus spricht auch, daß die Hemmwirkung von Kohlehydrate auf das Duodenum und den oberen Jejunalabschnitt beschränkt ist, demselben Ort, wo andere chemisch gelöste Stoffe wie Sulfate, Kaliumsalze pro Osmol die gleiche



Duodenale Steuerung

Abb. 7

Hemmung des Magens bewirken (HUNT).

Die alleinige Zuordnung der einzelnen Gewebshormone zu den sechs Reizqualitäten ist aus Gründen der Übersicht so heruasgestellt. So wird z. B. durch Eiweiß neben Pankreozymin besonders auch Cholecystokinin freigesetzt. Im allgemeinen besteht die aufgenommene Nahrung nicht aus reinen Kohlehydrat-, Eiweiß- oder Fettfraktionen. Es kommt also normalerweise beim Übertritt von saurem Chymus aus dem Magen ins Duodenum nach Maßgabe der Zusammensetzung zur Auslösung mehrerer duodenaler Steuerungsmechanismen.

Zu diesem Regelkreis gehören auch die Wirkungen von Galle und Pankreassaft, nachdem sie ins Duodenallumen sezerniert wurden.

Galle im Duodenum hemmt die Magensekretion (ALBO), nach CHOCOLAC auch die Magenentleerung und erhöht den Dünndarmtonus und -peristaltik. Galle steigert die Pankreassekretion besonders von Lipase und Proteasen. Bei der Fettverdauung ist Galle ein entscheidender Faktor, indem sie die Fettemulgierung ermöglicht, die Pankreaslipase aktiviert und die Sezernierung von endogenen Fetten ins Duodenallumen hemmt. Gallensalze sind notwendig zur Wiederveresterung resorbierter Fettspaltprodukte im Darmepithel. In die Eiweißverdauung greift die Galle durch die Verlängerung der Trypsinaktivität ein. Nach NIEDNER und KLEF besitzt Galle einen antiulzerogenen Effekt für die Duodenalschleimhaut.

Pankreassaft im Duodenum hat entsprechend seiner Zusammensetzung einen neutralisierenden Effekt. Durch den Gehalt an alpha-Amylase, Diastase, Maltase ist der Pankreassaft für die Kohlehydratspaltung, durch Lipase für die Fettverdauung und durch die im Pankreas noch inaktiven Trypsinogen, Chymotrypsinogen und Carboxypeptidasen für die Eiweißaufschließung entscheidend. Die BRUNNERschen Drüsen im Duodenum enthalten u. a. Enterokinase, ein Enzym, das bei Kontakt der Duodenalschleimhaut mit Pankreassaft ins Duodenum sezerniert wird und das inaktive Ferment Trypsinogen in aktives Trypsin überführt. Enterokinase ist nur zur Startreaktion notwendig, da Trypsin in Gegenwart von Kalziumionen autokatalytisch Trypsinogen aktiviert. Die Aktivierung von Chymotrypsinogen und der Carboxypeptidasen A und B durch Tryspin ist kein autokatalytischer Vorgang.

Abb. 7 zeigt zusammenfassend die besprochenen duodenalen Steuerungsmechanismen.

b) Resorptionsleistung

Trotz der vergleichsweise zum Dünndarm geringen Länge ist die resorptive Leistung des Duodenum erheblich.

Kohlehydrate wie Lactose und Glucose werden nach BORGSTROM bis zu 40 % resorbiert, Maltose und Isomaltose dagegen erst im Jejunum und oberen Ileum. Saccharose wird allein im Ileum aufgenommen.
Proteine resorbiert das Duodenum zwischen 50 und 60 % und Fette bis zu 80 %.
Für den Eisenstoffwechsel ist das Duodenum und obere Jejunum die entscheidende Stelle, da hier bis zu 80 % resorbiert werden (HESS, CROSBY, WHEBY).

Unter normalen Bedingungen ist also die duodenale Resorptionsleistung

LENZ beobachtete bei seinen röntgenkinematographischen Untersuchungen alle 5 - 6 sec rhythmisch wiederkehrende Kontraktionen des Jejunum, MONTANARA bei einem großen Teil seiner als "lokale Aktivitäten" bezeichneten Segmentationsbewegung einen konstanten Rhythmus mit einer Frequenz von 10 - 12/min.

Bei Tierversuchen fand man analwärts (Jejunum und Ileum) eine Abnahme der Frequenz, beim Menschen bisher nicht. Experimentell läßt sich die Frequenz des Generatorpotentials z.B. durch Temperaturerniedrigung senken; unter physiologischen Bedingungen bleibt sie auch von den zuführenden Nerven unbeeinflußt, doch variieren diese Kraft und Amplitude der Kontraktionen (GREVSTEN). So dämpfen Schrecksituationen - wahrscheinlich über eine Stimulierung des Sympathikus - die Segmentationsbewegungen, während Reizung des Vagus oder Applikation von Physostigmin oder Prostigmin (LENZ) die Bewegungen verstärkt. HUKUHARA beobachtete in Tierversuchen (Hund, Katze) bei Zorn und Unbehagen eine sofortige Tonussenkung und ein Verschwinden der Darmmotilität.

Die zweite Bewegungsform, die peristaltische Welle, hat 1899 BAYLISS und STARLING zur Formulierung des nach ihnen benannten Gesetzes (Law of the intestine) veranlaßt, wonach sich 2 bis 3 cm oberhalb des gesetzten reizes die Darmwand kontrahiert und einige cm unterhalb erschlafft. Die peristaltische Welle bestehend aus Kontraktion und Relaxation wird als gemeinsamer Reflex der glatten Darmmuskulatur und des intramuralen Nervenplexus interpretiert.

RIEDER beschreibt den peristaltischen Ablauf als einen doppelten myenterischen Reflex mit Kontraktion oberhalb und Erschlaffung unterhalb der gereizten Stelle. Die Folge ist eine periodische Verschiebung des Darminhalts in anale Richtung.

Nach DAVENPORT reicht als Reiz eine Erhöhung des Innendruckes um 2 mm Hg aus, um eine Längsmuskelkontraktion zu provozieren, der um 90° phasenverschoben eine Ringmuskelkontraktion folgt. Dieser Reflex ist auch nach Abtragung der zuführenden Nerven vorhanden und erlischt erst nach Kokainapplikation oder künstlich erzeugtem O_2-Mangel. Aus der Tatsache, daß nach Applikation von Hexamethonium oder großen Mengen Nikotin - also Ganglienblockern - der Reiz nur noch von der Längsmuskulatur und nicht mehr von der Ringmuskulatur mit einer Kontraktion beantwortet wird, folgert DAVENPORT, daß zwei Gangliengruppen vorhanden sein müssen:
eine Neuronengruppe, die den Reflex beginnen, indem sie die intraluminale Druckerhöhung beantworten, und eine zweite Gruppe, die impulse von ersteren empfangen und weiterleiten, um so nachfolgend Ringmuskelkontraktionen auszulösen.

THOMAS (vgl. Abb. 9 auf der nächsten Seite) versucht dem im BAYLISS-STARLINGschen Gesetz gefaßten analwärts gerichteten Bewegungsablauf eine neue Erklärung zu geben, indem er die vom schon erwähnten Pacemaker ausgehende, analwärts fortgeleitete Erregung der Darmwand benutzt. Ein lokal auftretender exzitatorischer Impuls kann nicht oralwärts fortgeleitet werden, da die Erregung hier in die Refraktärphase der rhythmischen Impulse fällt.

pro cm^2 zumindest um den Faktor 2 höher als die des Jejunum.

Sekretionsleistung

Der hochviskösе Duodenalsaft stammt zum größten Teil aus den BRUNNERschen Drüsen. Wie schon erwähnt, enthält er Fermente boso nders zur Kohlehydrat- und Eiweißverdauung. Der pH-Wert des Sekrets liegt mit ca. 7.8 leicht im alkalischen Milieu. Nach DAVENPORT hat der Mucingehalt (0.5 %) besonders eine antiulzerogene Wirkung. Bei Tierversuchen lag die Volumenproduktion von Duodenalsaft bei 6 - 38 ml/h (LANDOR).

5. Physiologie der Darmmotorik

Die Nahrungsresorption nach vorheriger Aufspaltung stellt die Hauptaufgabe des Darms dar. Entsprechend hat die Darmmotorik zwei Funktionen:

1. Transport der aufgenommenen Nahrung an den Ort der Resorption und Entfernung unbrauchbarer Substanzen aus dem Darm.
2. Durchmischung der Nahrung mit Verdauungssäften und Gewährleistung eines innigen Kontakts der Nahrungsstoffe mit der Darmschleimhaut zum Zwecke der Resorption.

Unter diesem Gesichtspunkt lassen sich am Darm Bewegungen, die mehr Transport- bzw. Entleerungsfunktion haben, von Bewegungen abgrenzen, die den Darminhalt mit Verdauungssekret durchmischen und ihn genügend lang in Kontakt mit der Darmschleimhaut halten.

Von der Mehrzahl der Autoren wird diese Beobachtung bestätigt. Sie bezeichnen die zwei Bewegungstypen als Segmentation und als peristaltische Welle.

a) Elektrophysiologie, nervöse Versorgung, Reflexapparat

Elektrophysiologisch lassen sich Segmentationsbewegungen durch ein rhythmisch sich entladendes Generatorpotential erklären (BASS). Ausgehend von der Längsmuskulatur nahe der Papilla duodeni major - sog. Pace-maker Region (JORGENS) - können beim Menschen durch implantierte Elektroden Potentialschwankungen mit einer Frequenz von 11/min ± 1 % (= alle 5.4 sec) registriert werden, die sich analwärts fortleiten. Intermittierte Spitzenpotentiale, denen Muskelkontraktionen entsprechen, treten in Zeitabständen auf, die immer einem Vielfachen von 5.4 sec entsprechen (vgl. Abb. 8).

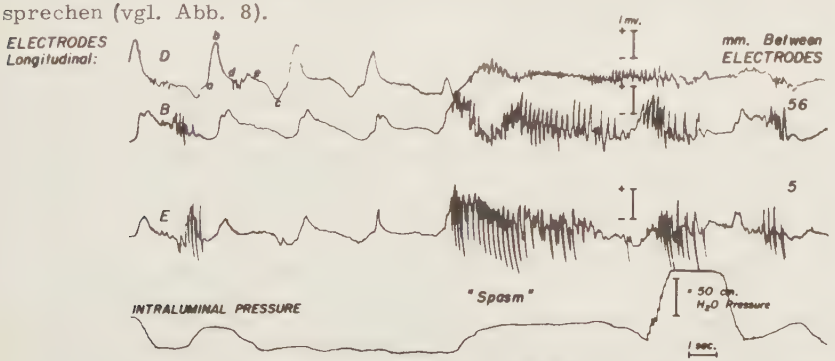
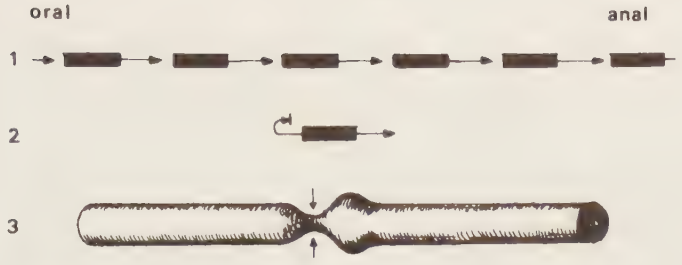


Abb. 8 Electrical activity and pressure recorded from the duodenum of an unanesthetized dog. At an earlier operation, the duodenum was brought out through the abdominal wall and covered by a skin flap so that it formed a permanent handle-like loop. Electrical recording was made from needle electrodes inserted into the muscle through the skin; pressure was recorded by means of an open-tip catheter inserted through a thin-walled hypodermic needle. The dog was given morphine by slow intravenous injection. The left half of the records shows the basic electrical rhythm with some spiking. Pressure increases following spiking. At the middle of the record, spiking becomes prolonged, and there is a corresponding increase in intraluminal pressure. (From Bass, P., *et al.*: Am. J. Physiol. 201: 287 - 291, 1961.)



Possible mechanism of polar conduction
1 rhythmic impulses from pacemaker
2 local excited impulse
3 contraction due to summation of local and transmitted impulses

n. Thomas

Abb. 9

Seit längerer Zeit ist bekannt, daß im Zentralnervensystem neben Dopamin auch Serotonin eine adrenerge Überträgersubstanz darstellt. Serotonin (= 5-hydroxytryptamin = 5-HT) läßt sich in relativ großen Mengen aus der Dünndarmschleimhaut - wahrscheinlich aus den argyrophilen Zellen - extrahieren. Der direkte biochemische Vorläufer ist das 5-hydroxytryptophan. Der Serotoninabbau geschieht durch die Monoaminooxydase, also durch enzymatische Oxydation.

I m Tierversuch wird bei künstlich gesteigerter Peristaltik aus dem perfundierten Darmstück eine erhöhte Menge ausgeschiedenen 5-HT registriert. Auch bei Erhöhung des intraluminalen Drucks kommt es zu einer vermehrten 5-HT-Ausscheidung, die auch dann bestehen bleibt, wenn man durch Lokalanästhetika oder Ganglienblocker den Reflex der peristaltischen Welle verhindert (DAVENPORT). Aus diesem Grund wird die Existenz eines die Peristaltik auslösenden, druckempfindlichen Systems (sog. pressure sensing system) abgeleitet. Zudem läßt sich beobachten, daß i.v. oder i.a. Infusion von nur geringen Mengen 5-HT eindeutig die Peristaltik stimuliert, die Kontraktionsfrequenz erhöht und die kritische Druckhöhe zur Auslösung einer peristaltischen Welle vermindert.

Die nervöse Versorgung vom Duodenum und restlichem Dünndarm besteht aus

1. intramuraler innervation und
2. extramuraler innervation.

Das intramurale System bilden der Plexus submucosus, Plexus myentericus, die Rezeptoren in der Schleimhaut und Muskulatur, sowie zahlreiche synaptische Verbindungen zwischen beiden Plexus. Hier laufen die schon erwähnten intramuralen Reflexbögen und auch Axonreflexe zur Vasodilatation ab.

Die extramurale Innervation besteht aus afferenten und efferenten Fasern des Sympathikus und Parasympathikus.
Der efferente Schenkel des Sympathikus läuft über zunächst präganglionäre, cholinerge Fasern, die nach Umschaltung hauptsächlich in den prävertebralen Ganglien als postganglionäre, adrenerge Fasern ohne weitere Umschaltung zu folgenden Effektoren ziehen:

a) Blutgefäße - überwiegend Vasokonstriktion
b) Muscularus mucosae - überwiegend Erregung
c) Ring- und Längsmuskulatur - Hemmung
d) Pankreas, Dünndarmdrüsen - überwiegend Hemmung.

Nach BÜRGI haben neuere Untersuchungen ergebn, daß die efferenten sympathischen Fasern sich in der Darmwand um parasympathische Ganglien aufsplittern und auf diese ihren hemmenden Einfluß für Motilität und Sekretion ausüben (Dreineuronentheorie). Somit hätte hier das vegetative Nervensystem eine gemeinsame Endstrecke zu den Effektoren.

Der efferente Schenkel des Parasympathikus zieht als präganglionäre, cholinerge Fasern im vorderen Stamm des aus dem Plexus oesophageus n. vagi vorwiegend zum Magen, Duodenum und Leber, während der hintere Stamm den eigentlichen abdominalen N. vagus darstellt. Die Umschaltung auf postganglionäre, cholinerge Fasern erfolgt im Plexus myentericus, die z. T. noch nach synaptischen Verbindungen mit Ganglien dieses oder des submukösen Plexus zu folgenden Effektoren ziehen:

a) Darmmuskulatur - Erregung
b) Dünndarmdrüsen - Sekretion.

Der afferente Schenkel für Sympathikus und Parasympathikus beginnt in den Mechano- und Chemorezeptoren der Darmwand - für das Duodenum besonders im Bulbus zur Abtastung des Chymus (DAVENPORT) - Die Fasern laufen direkt oder nach Umschaltung im Plexus submucosu und/oder myentericus im N. vagus oder den Nn. splanchnici zu höheren Zentren.

Beim sympathischen Nervensystem läßt sich im Gegensatz zum parasympathischen noch eine segmentäre Innervation einzelner Organe feststellen (HANSEN, VON STAA). So werden dem Duodenum die Segmente D6 - D10 zugeordnet, dem Magen D5 - D9, dem Pankreas D7 - D9 und der Leber und Gallenblase D6 - D10. Diese Zuordnung macht die Möglichkeit von Störreflexen (viscero-viscerale Reflexbögen) verständlich. SWART spricht vom Duodenum als dem "Reflexglacis" vieler Organe mit reflektorischer Tonus- und Motilitätsstörung, MIZRAY von funktioneller Stase des Duodenum durch Irritation des vago-sympathischen Systems.

Ein wichtiger physiologischer Reflex zur Steuerung der Magenmotorik ist der entero-gastrische Reflex oder nach MONTANARA duodeno-gastrische Reflex:
der afferente Schenkel besteht aus Rezeptoren im Duodenum, die auf Distension, Erniedrigung des pH-Wertes und erhöhten osmotischen Druck ansprechen, und aus Nervenfasern, die direkt oder nach Umschaltung im intramuralen System zum Plexus coeliacus ziehen. Hier wird auf den efferenten Schenkel mit postganglionären, sympathischen Fasern zur Magenmuskulatur umgeschaltet, die die Magenmotorik hemmen. Der Sinn dieser Hemmung liegt in der Vermeidung einer Überfüllung abhängiger Darmabschnitte (MONTANARA, vgl. auch Abb. 7). Auch die intesto-intestinalen Inhibitionsreflexe z. B. bei starker Zerrung eines bestimmten Darmabschnitts - nach DAVENPORT liegen die Rezeptoren in der Längsmuskulatur - haben die Aufgabe einer sinnvollen Koordination der Bewegungen größerer Darmabschnitte zueinander (GREVSTEN). Wahrscheinlich wird diese Koordination nicht nur mit feed-back Mechanismen erreicht, sondern auch mit feed-forward Mechanismen. So treten nach DAVENPORT 85 % aller Duodenalkontraktionen auf, wenn sich der terminale Magenteil

kontrahiert. LENZ konnte Pendelbewegungen, die von ihm nur im Jejunum gesehen wurden, mit ziemlicher Regelmäßigkeit zu Beginn der Magenentleerung nachweisen, obwohl zu diesem Zeitpunkt noch keine zusammenhängende Dünndarmfüllung bestand.

b) Mechanik von Segmentation und peristaltischer Welle

Aus der schon beschriebenen polar ausgerichteten GOERTTLERschen Darmkonstruktion ergeben sich für die Darmmotorik folgende Grundvoraussetzungen:

1. Lumenerweiterung hat zwangsläufig Verkürzung dieses Darmabschnitts zur Folge und entsprechend Lumenverengerung eine Darmverlängerung.
2. Ein auftretender Inhaltsdruck dehnt a) die Ringmuskulatur und zwingt b) da die mit Lumenerweiterung einhergehende Darmverkürzung zu einer neuen Winkeleinstellung des Raumgitters führt, die Längsmuskulatur über diesem Abschnitt zur Kontraktion.
3. Bei feststehendem "Innenrohr" - Anschmiegen der Mucosa an den Darminahlt - kann sich das äußere Rohr nur analwärts verschieben.
4. Eine Längsmuskelkontraktion hat, um effektiv zu sein, ihr Punctum fixum am analen Ende des sich kontrahierenden Abschnitts.
5. Längsmuskelkontraktion bewirkt proximal von ohr eine Einschnürung, da sich durch Zug am äußeren Rand der Ringmuskelsegmente diese aufsteilen bzw. quer zur Darmachse stellen.
6. Unter Berücksichtigung des gerade herrschenden Tonus wird jede Zustandsänderung des Raumgitters mit einer mehr oder weniger weitgreifenden Neueinstellung des Gleichgewichts beantwortet.

TRENDELENBURG und auch CATEL beschreiben den Vorgang einer peristaltischen Welle in zwei Phasen, einer Vorphase, während der durch Tonuserhöhung die Masse an reaktionsbereiter Muskulatur zur Kontraktion bereitgestellt wird, und einer Bewegungsphase, dem Auftreten der peristaltischen Welle.

Die Vorphase läßt sich mit Hilfe der GOERTTLERschen Darmkonstruktion in ihrer Mechanik in 4 Abschnitte auflösen:

a) Der auftretende Inhaltsdruck dehnt die Ringmuskulatur und verkürzt durch Lumenerweiterung des Darms dessen Länge. Das zunächst dreidimensionale Raumgitter wird zunehmend flacher.
b) Die Faserumordnung löst eine Längsmuskelkontraktion aus, die ihr Punctum fixum am analen Ende des sich kontrahierenden Muskelabschnitts hat. Dies führt zur bauchigen Erweiterung des Darms unter dem kontrahierten Längsmuskel und oralwärts durch Querstellung der Ringmuskelsegmente zu einer Einschnürung.
c) Zunehmende isometrische Kontraktion der gedehnten Ringmuskelsegmente führen zu einem erhöhten Inhaltsdruck und einer Umformung des kugeligen Speisebreibolus in einen Zylinder. Die proximale Einschnürung wird eher fester.
d) Im Augenblick der Überwindung des Abflußwiderstandes und der analwärts gerichteten Inhaltsverschiebung kommt es an der Stelle des größten Dehnungsreizes zu einer Kontraktion der Ringmuskelsegmente. Der Darm wird verengert und somit länger. Die über diesem Abschnitt kontrahierte Längsmuskulatur wird gedehnt. Dadurch kommt es einmal zu einer Verschiebung des Längsmuskelkontraktionswulstes analwärts

und zum anderen zur Lösung der proximalen Einschnürung, da hier die Ringmuskeln durch den aufgehobenen Längsmuskelzug in ihre Ruhelage zurückkehren können. Der zylindrische Speisebreibolus wird zu einem Kegel umgeformt, wobei die Basis analwärts gerichtet ist.

Die jetzt folgende Bewegungsphase setzt sich zusammen aus rasch aufeinander folgenden, analwärts gerichteten Kontraktionen einzelner Ringmuskelsegmente mit Verengerung des Darmlumens. Distal der Ringmuskelkontraktionen kommt es jeweils zur Kontraktion von Längsmuskelabschnitten, die durch proximale Radiärumstellung von Ringmuskelsegmenten diese zur Kontraktion bereitstellt.

Zusammenfassend kann gesagt werden (vgl. auch Abb. 10), daß nach GOERTTLER zum Start einer peristaltischen Welle ein ausreichender Füllungsdruck notwendig ist, der den Ringmuskel dehnt und durch Umordnung der Gitterfasern den Längsmuskel zur Kontraktion zwingt. Der Ringmuskel reagiert auf die Dehnung bis zur Überwindung des Abflußwiderstandes mit einer isometrischen Kontraktion, um mit Auswurf des Inhalts in anale Richtung in eine isotone Kontraktion überzugehen. Gleichzeitig kommt es distalwärts zu einer Längsmuskelkontraktion. Während des Ablaufs einer peristaltischen Welle ist es nicht mehr möglich zu unterscheiden, wer was bedingt, proximale Ringmuskelkontraktion und distale Längsmuskelkontraktion sind miteinander verzahnt.

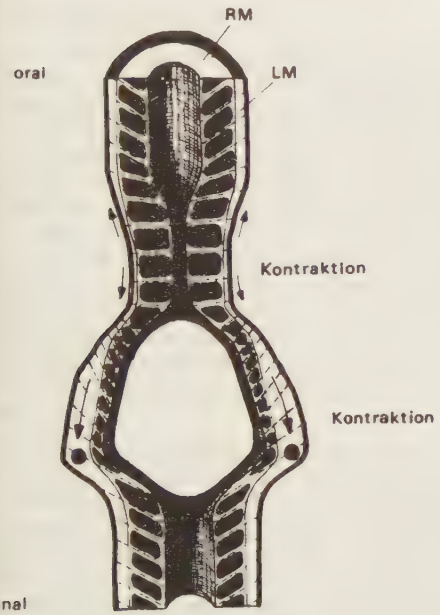


Abb. 10 n. Goerttler

Die Analyse der peristaltischen Welle an Hand des GOERTTLERschen Darmmodells ergibt Befunde, die im Gegensatz zum BAYLISS-STARLINGschen Gesetz stehen:
nach BAYLISS und STARLING kontrahieren sich bzw. erschlaffen Ring- und Längsmuskulatur gleichzeitig an gleicher Stelle. Dies bestätigt auch TRENDELENBURG. Das polar ausgerichtete Gittersystem kann sich aber - wie oben gezeigt - nicht in beide Richtungen zugleich entspannen oder zusammenziehen. GOERTTLER beschreibt die synchronen Kontraktionen von Ring- und Längsmuskulatur an verschiedenen Orten, proximal Ring- und distal Längsmuskelkontraktion. HUKUHARA berichtet über ähnliche Beobachtungen: Kontraktion der Ringmuskeln bei gleichzeitiger Erschlaffung der Längsmuskulatur, also alternierender Kontraktionsablauf. Im Gegensatz zu GOERTTLER fand er keine aktive Erweiterung des Darmrohrs vor der Einschnürung.

man dieses Zurückfließen von Kontrastmittel nicht als Anti- oder Retroperistaltik beschreiben, sondern besser als Repulsion oder Retropulsion.
Auf die Besonderheiten der Duodenalmotorik, die unter Umständen antiperistaltischen Charakter haben können, geht das folgende Kapitel ein.

6. Besonderheiten der Duodenalmotorik

a) - Bulbus duodeni -

Die besonders in der Radiologie verwendete Bezeichnung "Bulbus" stammt von HOLZKNECHT. SCHWARZ verstand diesen Teil des Duodenum als Nachmagen, als Pufferraum für die diskontinuierliche Magenentleerung.

Die Bulbusfüllung geschieht durch die motorische Aktivität des Magens und das Pylorusspiel. Der Öffnungs- und Schließungsmechanismus wird von einigen Autoren unterschiedlich beurteilt:
Während SORKIN berichtet, daß sich der Pylorus durch eine Antrumsystole öffnet und durch die nächste ankommende peristaltische Welle wieder geschlossen wird, hat SAUVEGRAIN durch röntgenkinematographische Studien eine Pylorusöffnung sowohl zum Zeitpunkt der Diastole als auch der Systole des Canalis egestorius festgestellt. Zwischen diesen gegensetzlichen Aussagen liegt LOB, der die Pylorusöffnung nicht während der Antrumsystole beobchtete, sondern am Ende der Systole, wenn die unteren Magenabschnitte zu erschlaffen beginnen. SORKIN und SAUVEGRAIN finden auch unterschiedliche Bulbusentleerungsfrequenzen: beim ersten ist die Frequenz halb so groß wie die Magenperistaltik und gleichlaufend dem Pylorusschluß, nach SAUVEGRAIN laufen während eines Bewegungszyklus des Canalis egestorius zwei Bulbuskontraktionen ab.

Auch BERGMANN und KATSCH sind der Ansicht, daß sich an jede Magenbewegung die Duodenalperistaltik unmittelbar ansetzt.

Dagegen wird von JORGENS die Bulbuskontraktion unabhängig von der Magenbewegung gesehen. DAVENPORT berichtet über einen bulbuseigenen Rhythmus des Generatorpotentials mit größerer motorischer Aktivität als im übrigen Duodenum, ohne so propulsiv zu sein. Nach ihm gibt es keine Verbindung zum Magenrhythmus und dem der Papilla VATERI. Die Fortleitung der Potentialschwankungen im Bulbus gehen sowohl nach oral wie anal.

Die Austreibung von Kontrastmittel aus dem Bulbus geschieht zuweilen nicht durch aktive Bulbuskontraktionen, sondern durch vis a tergo vom Magen her, besonders dann, wenn die Magensystole sehr kräftig war (BERNSTEIN, LOB, SCHWARZ).

Die Entleerungen des Bulbus sind eingehend auch durch Kymographie und Röntgenkinematographie untersucht worden. Die Beobachtungen der einzelnen Autoren sind recht unterschiedlich: SAUVEGRAIN sieht keinen Unterschied im Bewegungsablauf zwischen Bulbus und restlichem Duodenum. Auch bei CASE und JORGENS beginnen peristaltische Kontraktionen am Bulbus, entweder als zirkuläre Einschnürung 2 cm distal des Pylorus oder als segmentale Kontraktion in Bulbusmitte, selten auch

Abb.11 n. Jorgens

an der Bulbusbasis oder -spitze. Nach BERNSTEIN entleert sich der Bulbus durch rhythmische Muskeltätigkeit. SCHWARZ dagegen beobachtete keine rhythmische Motorik sondern nur aperiodische Einziehungen. ACKERLUND beschreibt distalwärts wandernde Kontraktionszylinder, die auch von KAESTLE erwähnt werden. Er findet aber neben diesem Bewegungstyp noch einen - schon von HOLZKNECHT genannten - zweiten in Form einer tonischen Kontraktion senkrecht zur Längsachse. Beide Typen treten nach KAESTLE individuumspezifisch auf. Wie auch später SORKIN berichtet CHAOUL u.a. von zweiphasig ablaufenden Bulbusbewegungen mit zunächst allseitig zunehmender, konzentrischer Kontraktion und anschließend zylindrischer Zusammenziehung des distalen Bulbusabschnitts, die den Inhalt austreibt. SORKIN bestätigt durch röntgenkymographische Untersuchungen die zweiphasige Bulbusentleerung mit einer schnellen allseitigen systolischen Kontraktionsphase - also auch Verkürzung des Bulbus in Längsrichtung wie vor ihm schon TESCHENDORF beobachtete - und einer langsamen zweiten Kontraktion auf etwa 1/8 der ursprünglichen Bulbusgröße. Der Bulbus enthält danahc noch ein Residualvolumen, was SWART verneint, da sich nach seiner Ansicht der Bulbus entweder völlig oder gar nicht entleert. Von LOB wird eine zweiphasige Entleerung ausdrücklich bestritten: es läuft am Bulbus nur eine rein systolische Entleerung ab mit Aufrichtung des Bulbus.

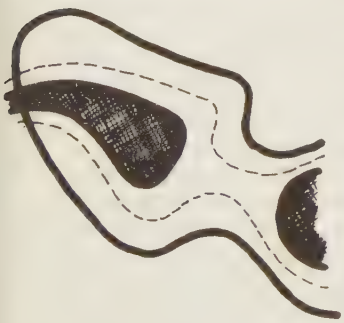


Abb. 12 n. Sorkin

Der größte Teil der Autoren ist sich einig, daß der Bulbus eigene Bewegungsformen besitzt und die eigentliche Peristaltik erst nach dem Bulbus einsetzt (FRIEDMAN, MONTANARA, SWART, LOB, SORKIN, KAESTLE, BERNSTEIN, DAVENPORT).

Unterschiede sind in der Beurteilung der Kontraktionsweise vorhanden, die z.T. auch auf die große Variationsbreite der Bulbusformen und auf fehlende Einheitlichkeit in der Verwendung von Begriffen zurückzuführen sind.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der Bulbus duodeni kein ihn charakterisierende Rhythmik besitzt und auf Distension mit einer Kontraktion der Bulbuswände antwortet, die nach Überwindung des Abflußwiderstandes den Inhalt auswerfen.

b) Restliches Duodenum

Die Passage des Kontrastmittels nach Auswurf aus dem Bulbus hat durch die retroperitoneale, fixierte Lage des Duodenum mit einem absteigendem und aufsteigendem Schenkel die Besonderheit, daß beim stehend untersuchten Pat. allein das spezifische Gewicht des Kontrastmittels für eine Passage bis zum unteren Duodenalknie ausreicht und dieses häufig stärker aufweitet. Weiter ist von hier aus bis zur Flex. duodeno-jejunalis eine Niveaudifferenz von ca. 8 - 10 cm zu überwinden.
So kommt es, daß BAUERMEISTER das untere Duodenalknie als "sinus duodeni" bezeichnet, der Speicherfunktion hat. Durch anatomische Untersuchungen will er bewiesen haben, daß es sich nicht um eine passagere, sondern um eine schon in der anatomischen Wandkonstruktion angelegte Ausbuchtung handelt. Nach BAUERMEISTER findet man erst im Jejunum die typische Dünndarmperistaltik.

Auch LOB und MECRAY konnten besonders in der Pars descendens keine echte Peristaltik sehen, sondern nur ein ruckartiges Vorwärtsgleiten durch allseitig rasche Kontraktionen der Duodenalwände. Nach LOB existieren zwei Möglichkeiten des Kontrastmittelabflusses:

1. in einem Schub bis zur Flex. duodeno-jejunalis.
2. Anschoppung am unteren Knie, Hin- und Herschaukeln des Kontrastmittels, dann in einem Ruck bis zur Flex. duodeno-jejunalis.

Im Gegensatz zu diesen Arbeiten stehen die Arbeiten von JORGENS, MONTANARA, SALOMONI und FRIEDMAN, die alle mittels röntgenkinematographischer und z. T. simultaner ballonmanometrischer Aufzeichnung lokale als auch peristaltische Bewegungen erfassen konnten.

MONTANARA unterscheidet dabei folgende Motilitätsformen:

a) korrelierte Motorik
   1. peristaltische Aktivität
   2. gleichzeitige Aktivität
   3. antiperistaltische Aktivität

b) isolierte Motorik
   1. lokale Aktivität
   2. tetanische Aktivität

Die peristaltische Aktivität ist manometrisch durch eine sehr kurze, kräftige Erhöhung des Innendruckes gekennzeichnet, die sich bisweilen einer geringen Erhöhung des Basaldruckes aufpfropft. Häufig sieht man vor der Druckspitze eines Schnelle Drucksenkung.

Die gleichzeitigen Aktivitäten an verschiedenen Stellen des Duodenum haben keinen regelmäßigen Rhythmus; sie treten besonders während peristaltischer Ruhe auf. Besonders häufig kann man sie an der Pars descendens und am unteren Knie registrieren, während sie am Bulbus völlig fehlen.

Sehr selten konnte MONTANARA "antiperistaltische" Aktivitäten feststellen, die durch eine reziproke Kontraktionsabfolge und fehlende Drucksenkung vor dem Druckmaximum gekennzeichnet sind.

Lokale Aktivitäten lassen sich außer am Bulbus an allen Teilen des Duodenum beobachten, häufig mit einer konstanten Frequenz von 10 - 12/min.

Tetanische Aktivitäten sind gleichbleibend hochfrequente, lang dauernde Kontraktionen an irgendeiner Stelle des Duodenum.

FRIEDMAN stellt nach intraluminaler Druckmessung und Röntgenkinematographie zwei Bewegungstypen am menschlichen Duodenum heraus:

1. kurze, nur Teile der Darmwand erfassende - meist die laterale Duodenalwand - Kontraktionen ohne Beeinflussung von Nachbarsegmenten und Entleerung des Darminhalts, die Mischfunktion haben.
2. mehr als 2 cm lange Segmente erfassende, konzentrische Kontraktionen begleitet von intraluminalem Druckanstieg, die erst nach dem Bulbus auftreten und Knetfunktion haben.
3. eine nicht genau abzugrenzende Form, die am Ende der Pars descendens meist wie Typ 2 beginnt und dann mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 cm/sec fortschreitet. Sie hat Propulsionsfunktion.

Nach JORGENS lassen sich ebenfalls zwei Motilitätsarten unterscheiden:

1. isolierte, nicht koordinierte, nicht progressive Kontraktionen, wobei das Kontrastmittel sowohl oral- wie analwärts abfließt.
2. koordinierte, progressive Kontraktionsserien mit eindeutiger Transportfunktion.

Häufig sah JORGENS am unteren Knie, wo die A. mesenterica sup. dem Duodenum aufliegt, einen passageren Stop der peristaltischen Welle, der außer bei massiver Ansammlung von Kontrastmittel, nicht als pathologisch zu werten ist. Bei Zerstörung der Pace-maker Region (Papilla duodeni major) z. B. durch entzündliche Veränderungen fehlt die koordinierte Peristaltik. Es überwiegen jetzt unkoordinierte Segmentationsbewegungen.

Die von SALOMONI mitgeteilte Einteilung entspricht in etwa der von JORGENS. Auch er grenzt eine örtliche von einer peristaltischen Motilität ab.

Eine Zweiteilung der zu beobachtenden Duodenalbewegungen nimmt auch SAUVEGRAIN vor:

1. lokale Segmentationsbewegungen mit bipolarer Austreibung des Kontrastmittels, die besonders in der Pars descendens und am unteren Knie zur Durchmischung des Inhalts auftreten.
2. gerichtete, propulsive Kontraktionen, bei denen sich das gesamte Duodenum in tonischem Kontraktionszustand befindet, wenn die Welle den TREITZschen Winkel erreicht hat (Abb. 13): „... das Duodenum wird wie eine Zahnpastatube ausgedrückt." (vgl. LOB und MECRAY)

Bei den Propulsionskontraktionen kann häufig folgende Variation beobachtet werden:
a) Beginn der Welle am Bulbus, die abortiv in Höhe von der Papilla duodeni oder des unteren Knies ausläuft.
b) Beginn Mitte der Pars descendens, dann ohne Stop bis zur Flex. duodeno-jejunalis.

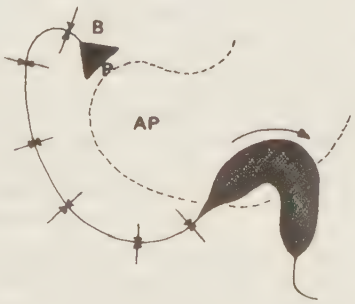


Abb. 13 n. Sauvegrain

SAUVEGRAIN konnte eine Abhängigkeit des Auftretens von Segmentations- und Propulsionskontraktionen vom Pylorusausflußvolumen feststellen:
Propulsionskontraktionen treten besonders bei großem Ausflußvo-

lumen auf. Ist das Volumen gering, dann herrschen Segementationsbewegungen vor.

Die Transportbewegung wird hier nicht als peristaltische Welle, sondern als eine systolische Austreibungskontraktion des gesamten Duodenum gesehen. Das entspricht etwa den Beobachtungen von LOB und MECRAY.

In hohem Maß einig sind sich die zuletzt zitierten Autoren, die ausschließlich mit röntgenkinematographischer Aufzeichnungstechnik gearbeitet haben, in der Einteilung der Duodenalbewegungen - ähnlich der Dünndarmbewegungen - in lokale Segmentationsbewegungen und gerichtete peristaltische Aktivitäten.

c) Duodenalsphinkteren

Am Duodenum sind insgesamt vier sog. funktionelle Sphinkteren beschrieben worden (s. Abb. 14). Ihre Existenz ist bis heute umstritten, da das anatomische Substrat fehlt (SWART). Besonders KAPANDJI, MONTANARA und SALOMONI haben sich mit den Duodenalsphinkteren beschäftigt.

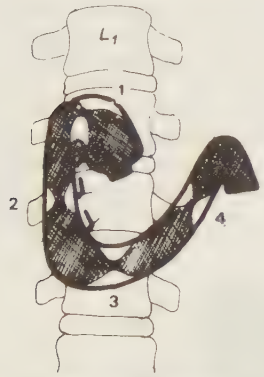


Abb. 14 Duodenalsphinkteren

1 apico-bulbärer S.
2 S. Kapandji oder Busi
3 Ochsnerscher S.
4 S. in Nachbarschaft der Flex. duodeno-jejunalis

KAPANDJI machte auf die Beeinflussung des Drucks in den Gallenwegen aufmerksam. Besonders bei hohem oder tiefem Sitz der Papilla duodeni konnte er manometrisch bei offenem Sphinkter ODDI einen plötzlichen Druckanstieg in den Gallenwegen und z. T. einen duodeno-biliären Reflux nachweisen, wenn sich durch Kontraktion zweier Duodenalsphinkteren eine Tasche mit hohem Duodenaldruck bildet. KAPANDJI (nach HESS) stellte zudem eine Verdickung der Muskulatur in den Sphinkterregionen fest. Umgekehrt fand CHOCOLAC bei biliärer Hypertension durch Hypertonie des Sphinkter ODDI spastische Kontraktionen der ersten drei Duodenalsphinkteren mit Regurgitation von Kontrastmittel in den Bulbus und Magen. Experimentell konnte durch eine plötzliche Gallenwegsdruckerhöhung auf 25 - 35 cm H_2O eine Störung der rhythmischen Sphinkter-ODDI-Funktion und spastische Kontraktionen der Duodenalsphinkteren ausgelöst werden. Die enge Beziehung zwischen Duodenum und Gallenwege unterstreicht auch PETROVSKIJ, der der Duodenalperistaltik eine melkende Funktion am Ductus choledochus zuschreibt. Auch Cholecystokinin kann eine Spastik der Duodenalsphinkteren hervorrufen.

MONTANARA und SALOMONI untersuchten mit Röntgenkinematographie und synchroner intraluminlaer Druckregistrierung die Auswirkung der funktionellen Sphinkteren auf die Kontrastmittelpassage. Nach Registrierung der Häufigkeit und Lokalisation des Auftretens von Kontraktionen, die das Kontrastmittel teils analwärts teils pyloruswärts verschieben, kommen sie zu der Ansicht, daß man statt von "Sphinkteren" eher von "points nodaux", Knotenpunkten sprechen sollte, um den Kontraktionsphänomenen besser

gerecht werden. Denn man kann die Formationen nicht mit Sphinkteren z. B. am Übergang Pharynx/Ösophagus vergleichen, da während der Bewegungspausen kein erhöhter Basaldruck gemessen wurde, der einem erhöhten Tonus der ruhenden Darmwand entspricht. Trotzdem ist das zeitgerechte Zusammenspiel von Öffnen und Schließen dieser leicht irritablen Knotenpunkte wichtig, weil dies eine normale Passage des Darminhalts durch die Duodenalschleife gewährleistet. Bei Alteration nur eines dieser Knotenpunkte kommt es zu einer mangelnden Koordination, die eine Stase, Repulsion oder andere pathologische Bewegungsformen zur Folge hat.

Unabhängig davon bestätigen die röntgenkinematographischen Aufzeichnungen von SAUVEGRAIN, der von zwei bevorzugten Duodenalzonen berichtet, zumindest zwei der beschriebenen Sphinkterzonen: der Übergang Bulbus/oberes Duodenalknie und das Gebiet um die Flex. duodeno-jejunalis, das für das Kontrastmittel "un point de non-retour" darstellt.

d) Bulbo-gastrischer Reflux

Wie schon bei der "Antiperistaltik" im Dünndarm erwähnt, kommt es fast bei jeder peristaltischen Kontraktion zu einem geringen Reflux von Kontrastmittel. Darüber berichten eine große Zahl von Autoren (KAESTLE, CATEL, BAUERMEISTER, JORGENS, HESS, MONTANARA, SAUVEGRAIN, SCHMID, SWART). Auch bei gesunden Menschen kommt es relativ häufig zur Kontrastmittelrepulsion besonders vom unteren Duodenalknie in den Bulbus und bei offenem Pylorus in den Magen. Dies wird erst dann als pathologisch gewertet, wenn diese Bewegungsform überwiegt und gehäuft spastische Kontraktionen mit starker Kontrastmittelansammlung am unteren Knie auftreten.

Abb. 15 n. Sauvegrain

Bulbo-gastrischer Reflux

Für SAUVEGRAIN kommt es besonders dann zu einem bulbo-gastrischen Reflux, wenn durch irreguläres Pylorusspiel der Inhalt in eine Bulbuskontraktion entleert und das obere Duodenalknie durch eine segmentäre Kontraktion geschlossen ist (Abb. 15). Genauso können segmentäre Kontraktionen im oberen Teil der Pars descendens Teile des Darminhalts in den Bulbus zurücktreiben, der seinerseits bei kraftloser Magenperistaltik durch eine Kontraktion seinen Inhalt bei der nächsten Pylorusöffnung in den Magen zurückwerfen kann.

7. Methoden der radiologischen Bewegungsaufzeichnung

a) Polygraphie

Unter einem Polygramm versteht man eine Mehrfachabbildung in definierten Zeitabständen eines bewegten Objekts auf einer Abbildungsfläche. In der Röntgenologie geschieht das durch Mehrfachexposition eines Films, wobei die Belichtungszeit je nach Zahl der Aufnahmen - meist 3 - 4 - entsprechend auf 1/3 oder 1/4 verkürzt wird. Mit dieser Aufzeichnungstechnik haben TAMIYA und NOSAKI die Magenmotorik von Katzen untersucht.

Umgekehrt haben TESCHENDORF, SCHAAF und WILHELM mit der Polygraphie das Fehlen und die Unterbrechung von Bewegungsabläufen besonders beim Magenkarzinom studiert, die ein radiologisch wichtiges Zeichen dafür darstellt.

b) Kymographie

Die zweite Möglichkeit, in einem Bild Bewegungsphasen über einen längeren Zeitraum, d. h. einige Sekunden bis maximal etwa 1 min, festzuhalten, stellt die Röntgenkymographie dar.
Das Prinzip besteht darin, zwischen Pat. und Röntgenfilmkassette einen Raster aus 6 oder 12 mm breiten, in einem Abstand von 1 - 2 mm parallellaufenden Bleistreifen einzuschieben und zwar so, daß die Rasterschlitze parallel zur Hauptbewegungsrichtung des zu untersuchenden Organs verlaufen. Im ersten Fall werden die zeitlich aufeinanderfolgenden Ortsänderungen von Konturstücken in Größe der Lamellenbreite aufgezeichnet. Da die von jeweils einem Schlitz bestrichenen Konturstücke aneinandergrenzen, ergibt sich eine zusammenhängende, flächenhafte Darstellung eines Organs, das die Bewegungsausschläge der Konturen durch Zacken entsprechender Amplitude erkennen läßt. Man nennt diese Darstellung "Flächenkymogramm".

Im zweiten Fall (Bewegung des Films) wird die zeitlich aufeinanderfolgende Ortsänderung eines kleinen Konturstückes in der Breite des Schlitzes auf einer Strecke, die einer Lamellenbreite entspricht, abgebildet. Da diese Konturstücke jeweils den Abstand der Lamellenbreite haben, kommt es zu keiner vollständigen Darstellung des untersuchten Organs, sondern es wird stufenweise erfaßt. Dementsprechend bezeichnet man diese Technik als "Stufenkymogramm".

Neuerdings wurde auch eine Methode entwickelt, mit fernsehtechnischen Mitteln ein Röntgenkymogramm auf dem Fernsehsichtgerät zu erzeugen, das von dort mit einer Kamera aufgenommen wird.

c) Serienaufnahmen

Unter Serienaufnahmen versteht man die Aufeinanderfolge von Röntgenaufnahmen eines Organs, an dem sich eine Zustandsänderung vollzieht.

Schon 1909 untersuchte RIEDER zwar in Unkenntnis der Strahlengefährdung (bis zu 24 Aufnahmen 24x30 cm im Abstand von 15 min bei einem "kräftigen, gesunden 12jährigen Mädchen") durch eine mehr oder weniger rasche Aufeinanderfolge von Einzelaufnahmen die Bewegungen des Magens und später des gesamten Verdauungskanals. RIEDER bezeichnete dies Verfahren als "Bio-Röntgenographie". GROEDEL konstruierte 1912 ein Gerät, mit dem er innerhalb einer sec 2 Platten belichten konnte und nannte es "Röntgen-

kinematograph".

Auch heute noch ist die Bulbusserie die am meisten geübte Darstellungstechnik der Bulbusfunktion. Die Aufnahmen folgen mit einer Durchleuchtungskontrolle in Abständen von mehreren Sekunden, bei Pylorospasmus manchmal in Minuten, wobei auch häufig die Darstellungsrichtung geändert wird.
Da schnell ablaufende Vorgänge, die auch vom Auge nur sehr unvollkommen erfasst werden, mit dieser Technik nicht in ausreichendem Maße aufgezeichnet werden können, wurde in neuerer Zeit die sog. Schnellserientechnik eingeführt. Sie wird für Kontrastmitteluntersuchungen der Gefäße (Angiographie) und des Herzens (Angiokradiographie) verwendet. Hierbei werden mehrere Aufnahmen pro sec (im allgemeinen bis zu 6) nach einem vorher festegelegten Programm angefertigt. Solche Aufnahmefrequenzen erfordern selbstverständlich bereits eine weitgehende Automatisierung des gesamten Untersuchungsvorganges (selbsttätiger Filmwechsel, programmgesteuerte Auslösung der Belichtung in Abhängigkeit von der Kontrastmittelinjektion).

Durch Einführung der 70 - bzw. 100-mm-Aufnahmen vom Ausgangsschirm des Bildverstärkers, die ebenfalls eine Aufnahmefrequenz bis zu 6 B/sec gestatten und dazu noch den Vorteil haben, durch die beträchtliche Verstärkung der Helligkeit des Leuchtschirmbildes im Bildverstärker nur etwa 1/10 der Röntgendosis von Großaufnahmen zu benötigen, ist man an manchen Stellen dazu übergegangen, Schnellserien auch vom Magen-Darm-Kanal aufzunehmen.

)Kinematographie

Die bei Schnellserien benutzte Bildfrequenz reicht schon nahe an die in der Kinematographie benutzte niedrigste Frequenz von 8 - 12 B/sec heran.

Die ersten röntgenkinematographischen Versuche stammen von RIEDER, KAESTLE, ROSENTHAL und GROEDEL, die aber aus Konstruktionsgründen über ein Versuchsstadium nicht hinauskamen. Erfolgreiche Ergebnisse zeigte erst die Methode von JANKER und NAEGELI (1931), die mit 35 mm Kameras kinematographische Aufmahmen von einem konventionellen Leuchtschirm machten. Damit war zwar das Problem des schnellen Filmtransports gelöst, nicht aber das der ernorm hohen Patienten- und Röhrenbelastung. Eine gewisse Abhilfe erreichte 1934 REYNOLDS, indem er die Stromschaltung an der Röntgenröhre durch das Kameratriebwerk steuerte: die Röntgenstrahlung wurde nur während des Hellsektors der Kamera - der Zeit, in der der Film zur Belichtung bereit im Kamerafenster steht - eingeschaltet und während des Dunkelsektors - der Zeit in der der Film transportiert wird - abgeschaltet. Es handelt sich hier also um den ersten Versuch einer gepulsten Röntgenkinematographie, mit der die Dosisbelastung auf etwa die Hälfte herabgesetzt wird.

Zu einer entscheidenden Herabsetzung der Dosis und damit Anwendbarkeit der Röntgenkinematographie als Routinemethode kam es jedoch erst durch die Einführung des Röntgenbildverstärkers 1952. Mit seiner Hilfe ist es möglich, die Helligkeit des Leuchtschirmbildes auf elektronischem Wege um ein Vielfaches zu steigern. Die ersten Exemplare erreichten eine Helligkeitsverstärkung um das 4 - 500fache, heute liegt die Bildverstärkerleistung bei etwa dem 4 - 12000fache. Allerdings führte diese

Helligkeitssteigerung im Vergleich zu den Kinoaufnahmen vom Primärschirm zu einer gewissen Bildverschlechterung, einmal weil die erforderliche Dosisleistung so gering ist, daß die Quantenfluktuation der Röntgenstrahlen sichtbar wird, zum anderen weil die verschiedenen Umwandlungsprozesse des Strahlenbildes bis zum sichtbaren Bild Störungen mit sich bringen. Jedoch ist damit die Röntgenkinematographie, wie gesagt, überhaupt erst für die Praxis annehmbar geworden. Außerdem bietet die Ankoppelung der Kinokamera an den Bildverstärker noch weitere vorteilhafte Möglichkeiten:

1. elektrische Messung der Helligkeit des Bildes auf dem Bildverstärkerausgangsschirm und dadurch automatische Steuerung der Eingangsdosisleistung (Spannungs- oder Stromstärkeregelung), die zu einer konstanten Helligkeit des Bildes und damit zu einer gleichmäßigen Belichtung führt.
2. gleichzeitiger Anschluß einer Fernsehkamera über einen Lichtverteiler, sodaß am Fernsehschirm die gerade aufgenommene Szene mitbeobachtet werden kann.

Die wichtigsten Elemente einer modernen Röntgenkinoanlage zeigt Abb. 16.

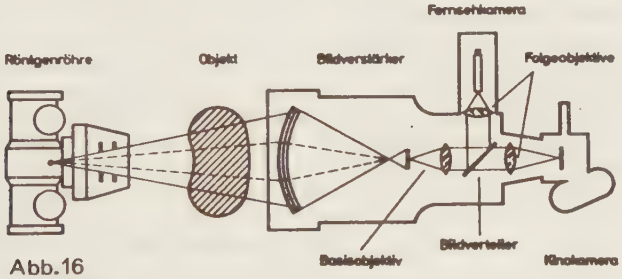


Abb.16

Trotz der im Vergleich zur direkten Kinematographie minimalen erforderlichen Dosisleistung ist man auch bei diesem System heutzutage schon dazu übergegangen, nicht mehr im Durchlaufbetrieb, d.h. bei ständig eingeschalteter Durchleuchtung zu arbeiten, sondern im durch die Kamera gesteuerten sog. Pulsbetrieb. Dafür waren nicht nur Strahlenschutzgründe maßgebend, sondern das Problem der Bewegungsunschärfe in Abhängigkeit von der Belichtungszeit.

Beim Durchlaufbetrieb ist die Belichtungszeit durch die Bildfrequenz und dem Verhältnis Hellsektor/Dunkelsektor der Kamera - üblicherweise $180^{o}/180^{o}$ - unveränderlich festgelegt. Dies bedeutet, daß z.B. bei einer Frequenz von 25 B/sec und einem Hellsektor von 180^{o} die Belichtungszeit 1/50 sec (= 20 msec) pro Bild betragen muß.

Im Pulsbetrieb dagegen ist es durchaus möglich, mit höherer Intensität eine wesentlich kürzere Zeit zu belichten. Die heute üblichen Belichtungszeiten (=Pulsbreite) liegen in der Größenordnung von 1 - 10 msec. Sie richten sich nach den Bewegungsgeschwindigkeiten des aufzunehmenden

Organs, haben jedoch eine untere Grenze in der Belastbarkeit der Röntgenröhre (Brennfleckgröße, Objektdicke, Dauer der aufgenommenen Szene).

8. Methoden der Röntgenkinofilmauswertung

Die Auswertung der Aufzeichnungen geschieht bis auf wenige Ausnahmen - Versuche der vollautomatischen Auswertung - durch den untersuchenden Arzt bzw. Wissenschaftler. Dabei ist das Auge des Betrachters ein wichtiges Glied in der Kette der Informationsübertragung.

a) Physiologie der Betrachtung

Aus der Physiologie des menschlichen Auges ergeben sich gewisse Konsequenzen für eine optimale Auswertung des Kinofilmes:
die Brechkraft des Auges erfordert einen Mindestbetrachtungsabstand von etwa dem 2fachen Durchmesser und einen Maximalbetrachtungsabstand von etwa dem 6fachen des projizierten Bildes. Der Gesamtsehwinkel eines Auges beträgt etwa 120^{o}, wobei ein Gegenstand mit der Fovea centralis, dem Ort des schärfsten Sehens, fixiert wird. Hier beträgt der Sehwinkel $15 - 20^{o}$. Betrachtet man Röntgenkinofilme im oben genannten Abstand, so ergibt sich ein Winkel von etwa $10 - 30^{o}$, was gut mit dem Betrachtungswinkel der Fovea centralis übereinstimmt. Die Unfähigkeit des Auges, ab einer bestimmten Frequenz Hell- und Dunkelimpulse als solche noch zu erkennen, hat zur Ermittlung der soz. "Flimmerverschmelzungsfrequenz" geführt. In der Kinematographie liegt sie etwa bei 48/sec, d.h. 24 B/sec.
Die Erkennbarkeit von Ortsänderungen und Geschwindigkeiten eines Punktes ist begrenzt. So beträgt die notwendige Mindestverschiebung bei ruhendem Fixpunkt 20 Winkelsekunden, ohne Fixpunkt mehr als 80 Winkelsekunden. Geschwindigkeiten werden bei vorhandenem Fixpunkt von 2^{o}/sec bis maximal $2^{o}/0.01$ sec erkannt. Fehlt der Fixpunkt, so liegt die untere Wahrnehmungsgrenze etwa bei 18 Bogenminuten/sec.

b) Die Möglichkeiten der Röntgenkinofilmauswertung lassen sich in zwei große Gruppen teilen:

1. qualitative Auswertung - Laufbildauswertung
2. quantitative Auswertung - zeichnerische, photographische, photometrische und elektronische Auswertung.

Diese Aufteilung bedeutet keine Trennung: quantitative Auswertung erlaubt häufig qualitative Aussagen und umgekehrt. Die Beurteilung von Kinoserien als Laufbild ist die heute übliche Form der Filmauswertung. Die eingangs beschriebenen (Un)Fähigkeiten des menschlichen Auges sind hier besonders zu berücksichtigen, d.h. die realen Bewegungsgeschwindigkeiten müssen sehr oft soweit gedrosselt oder beschleunigt werden, daß sie zu erkennbaren, in die physiologische Wahrnehmungsbreite fallenden Geschwindigkeiten werden. Zeitraffer- und Zeitlupeneffekt lassen sich sowohl mit der Aufnahmefrequenz als auch mit der Wiedergabefrequenz herstellen. Beim Zeitraffereffekt setzt die Frequenz der Wiedergabegeräte diesem eine obere Grenze, dem Zeitlupeneffekt die Flimmerverschmelzungsfrequenz eine untere Grenze. Da diese Grenzen bei der Aufnahme viel weiter gesteckt sind - bei normalen Kameras von 8 - 48 B/sec, bei Spezialkameras bis 150 B/sec - steht deshalb bei allen Kinoaufnahmen die Ermittlung der optimalen Aufnahmefrequenz, die das zeitliche Auflösungsvermögen einer Kinoserie bestimmt, im Vordergrund.

Die meisten Röntgenkinofilme beinhalten aber nicht nur einen Geschwindigkeitsvektor sondern viele, die sich überlagern z. B. am Ösophagus peristaltische Wellen und mitgeteilte Herzpulsationen. Diese zusammengesetzten Bewegungen lassen sich häufig nur schwer trennen. Man versucht daher, durch Synchronregistrierung des EKG z. B. die durch die Herzaktion anderen Organen mitgeteilten pulsatorischen Bewegungen einzuordnen.

Bei genügend hoher Aufnahmefrequenz ist es durch eine stufenlos veränderbare Wiedergabefrequenz meist möglich, die einzelnen Geschwindigkeiten in ihre optimale Wiedergabefrequenz zu bringen. Die erwähnte Synchronregistrierung von physiologischen Daten bei einer Kinoserie entweder direkt auf den Film (Tonspur) oder auf ein zusätzliches Registriergerät hat aber nicht nur den Vorteil, zusammengesetzte Bewegungen besser aufschließen zu können, sondern die Registrierung von Kreislaufgrößen wie EKG und RR, intraluminale Drucke im Verdauungstrakt und harnableitendem System sind einfach zusätzliche Informationen zum Kinobild, die eine umfassendere qualitative und quantitative Auswertung erlauben.

Bei komplizierten Bewegungsabläufen ist der Informationsgehalt einer Kinoserie für den Betrachter häufig zu groß und erschwert die Beurteilung der wesentlichen Bewegungsabläufe.
Hier hat sich das Verfahren der Betrachtung mit der "endlosen Schleife" bewährt: durch End-zu-End Verbindung des Filmstreifens entsteht ein kontinuierliches Filmband, durch das die zu untersuchende Filmszene ohne zeitraubendes Zurückspulen immer wieder abläuft. Der Untersucher kann die interessierenden Bewegungsphasen, die auf den ersten Blick noch nicht deutlich geworden sind, mehrmals ansehen und,wenn nötig, durch Variation der Wiedergabefrequenz oder durch Standbildprojektion verdeutlichen.

Aufgrund dieser Gegebenheiten sind an geeignete . Betrachtungsgeräte. folgende Forderungen zu stellen:

1. variable Wiedergabefrequenz von 2 - 25 B/sec
2. Schnellgang mit 50 B/sec
3. Vor- und Rückwärtslauf
4. Standbildprojektion bis max. 2 min ohne thermische Beschädigung des Films
5. Rückvergrößerung auf Originalbildgröße - ca. 25 cm ϕ
6. Möglichkeit der Mitprojektion von Zusatzdaten durch ausreichende Bildfenstergröße
7. Einblendmöglichkeit am Film
8. variable Bildausleuchtung, die auch eine Auswertung von Bildausschnitten mit einer Schwärzung bis 2.5 erlaubt
9. filmschonender Transport
10. Bildzählwerk

Auf dem kinotechnischen Markt sind heute folgende Geräte, die m. E. diesen Forderungen entsprechen:

16 mm: Photo-optical Data Analyzer WEINBERG
Analector DE OUDE DELFT
BELL & HOWELL Projector

35 mm: PICKER VERTEX 35 mm Analytical Projector 613
35 mm Medical Viewer-reader LOG ETRONICS INC.
TAGARNO Editing table
ARRI-Schneidetisch

Der Vorteil der Laufbildprojektion mit einem dieser Geräte liegt darin, daß der Untersu her den dynamischen Ablauf einer Bewegung verfolgen kann. Strömungsumkehr, Pseudoaneurysmen (geschlängelt verlaufendes Gefäß, das bei einer einzelnen Röntgenaufnahme aufeinander projiziert als Aneurysma erscheint, sich nur flüchtig darstellende Stenosen und zusammengesetzte Bewegungsabläufe lassen sich so erkennen. Zudem ergibt sich ein pseudostereoskopischer Effekt.

Der Nachteil dieser Methode ist ihre Unfähigkeit, exakte Aussagen über Bewegungsgröße (Amplitude) und -geschwindigkeit zu erlauben sowie die Möglichkeit einer stroboskopischen Täuschung.

Die quantitative Auswertung will exakte Messungen von aufgezeichneten Bewegungen (Geschwindigkeit und Beschleunigung) häufig in Beziehung zu synchron erfaßten Daten wie EKG, RR, EEG u. ä. Das verlangt bei der Filmaufnahme eine genau einjustierte Kamerafrequenz und eine Aufbelichtung von örtlichen Korrelationspunkten.

Wie schon für die qualitative Auswertung ist die Wahl der Aufnahmefrequenz entscheidend für das zeitliche Auflösungsvermögen. Die Frequenz sollte sich immer nach der größten Geschwindigkeit richten, die im zu untersuchenden Gebiet auftritt (STIEVE). Für die Einzelbildauswertung bei Aufnahme im Durchlaufbetrieb ist die Ermittlung der optimalen Bildfrequenz weiterhin wegen der auftretenden Bewegungsunschärfe von Wichtigkeit. Während bei der Laufbildanalyse ein gewisses Maß an in Bewegungsrichtung auftretender Unschärfe sogar vorteilhaft ist, da dies dem menschlichen Auge eine Verschmelzung der Bilder auch bei relativ niedrigen Frequenzen noch ermöglicht, ist sie bei der Einzelbildauswertung ausgesprochen störend. Will man also einen Röntgenkinofilm für eine quantitative Auswertung aufnehmen, so ist es vorteilhaft mit höheren Frequenzen zu filmen, um eine höchstmögliche Objektschärfe zu erreichen (STIEVE).

Bei den heute gebräuchlichen quantitativen Auswerteverfahren lassen sich vier Gruppen unterscheiden:

1. zeichnerische Auswertung
2. photographische Auswertung
3. photometrische Auswertung
4. elektronische Auswertung

Bei der zeichnerischen Analyse wird in Durchsicht- bzw. Hintergrundprojektion jedes einzelne Bild einer Kinoserie projiziert. Über die mit einem x-y-Koordinatenraster versehene Auswerteebene ist ein Bogen Transparentpapier gespannt. Nachdem die mit aufbelichteten Raummarkierungen mit entsprechenden Rasterpunkten zur Deckung gebracht worden sind, werden die interessierenden Punkte jedes aufeinanderfolgenden oder jedes n-ten Bildes markiert. Der Auswerter erhält eine sog. Weg-Zeit-Kurve, die die Ortsänderung in der Zeiteinheit widergibt. Diese Methode eignet sich besonders für Bewegungen von einfach zu erkennenden Objekten wie die Kontrastmittelfront in einem Gefäß.

Sind die Objekte größer und mehrere Bewegungen gleichzeitig auf dem Kinofilm erfaßt, so sollte man Bewegungsskizzen anfertigen. Hierzu wird statt eines Punktes die ganze Randkontur während eines Zeitabschnitts graphisch verfolgt. Besonders bei Untersuchungen der Peristaltik des Magen-Darm-Kanals (STENZEL, WAGEMANN), des Nierenbeckens und der Ureteren (KERSCHER) hat sich diese Methode bewährt.

Aus diesen Bewegungsskizzen können wiederum Punkte herausgegriffen und entsprechende Ortsänderung-Zeit-Kurven ermittelt werden. Der Vorteil solcher graphischen Auswertung ist, daß der Untersucher auf einen Blick die Bewegung über einen längeren Zeitraum erfassen kann. Zudem reduziert die Bewegungsskizze den für diesen Zweck unnötig großen Informationsgehalt eines Kinobildes.

Eine weitere zeichnerische Analysemöglichkeit - mit sicher nur begrenztem Anwendungsbreich - ist die Umzeichnung von Bewegungsphasen auf einen zweiten Film. Man bringt den Originalfilm mit einem Blankfilm in Kontaktkopierposition. Die Bewegungsphasen des Originals werden mit Tusche o. ä. auf dem Blankfilm skizziert. Im wesentlichen erhält man dann einen umgezeichneten Trickfilm, der die zu untersuchenden Bewegungen hervorhebt, keine störenden Überlagerungen von anderen, Röntgenschatten gebenden Objekten mehr aufweist und so die Analyse von Bewegungen erleichtert.

Mit Hilfe der photographischen Technik lassen sich auch quantitative Analysen vornehmen z. B. mit der von RIECK angegebenen Methode.
Benötigt werden 2 in der Mitte mit einem Loch versehene Polarisationsfolien, deren Polarisationsebenen senkrecht aufeinander stehen, und photographisches Papier. Vor einem Analyseprojektor werden beide Folien und dahinter das noch unbelichtete Photopapier in der Projektionsebene ausgespannt. Das Loch der einen Polarisationsfolie wird mit einem Fixpunkt zur Deckung gebracht, das der anderen Folie mit dem auszumessenden Objektpunkt. Nach Aufbelichtung beider auf das Photopapier wird dieses um einen bestimmten Betrag seitlich versetzt und das nächste Kinobild projiziert. Wiederholt man diesen Vorgang einige Male, so ergibt der aufbelichtete Fixpunkt inder Horizontalen (y-Achse) die Zeitskala und der in der Vertikalen (x-Achse) entsprechend der abgelaufenen Bewegungen verschoben aufbelichtete Objektpunkt die Ortsänderungskurve. Die so erhaltenen Weg-Zeit-Kurven lassen sich - wie die oben angeführte zeichnerisch ermittelte Weg-Zeit-Kurve - weiter auswerten (Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurven).

Die lichtoptische Subtraktion von Röntgenkinofilmen ermöglicht eine weitere Technik der analytischen und messenden Filmauswertung:
zieht man vom Negativfilm eine Kontaktkopie und legt beide - Negativ- und Positivfilm um ein oder n Bilder versetzt - in einen dafür geeigneten Analyseprojektor ein, so ergibt sich ein Projektionsbild, das vor allem durch die "zeitliche Versetzung" von Negativ- und Positivbild hervorgerufene Inkongruenz der Objektlage deutlich erkennen läßt, während sich an gleicher Stelle liegende Objekte bzw. Objektteile theoretisch, d. h. bei exakt entsprechenden Schwarz-Weiß- bzw. Grauwerten auf Negativ und Positiv aufheben, zumindest aber sehr stark zurücktreten. Die Differenzen können vom Projektionsschirm direkt abgegriffen und in ein Koordinatennetz (Abzisse: Zeit - Ordinate: Weg) abgetragen werden. Das Ergebnis ist eine Geschwindigkeitskurve über dem untersuchten Zeitraum.

Projiziert man einen Kinofilm und befestigt in der Projektionsebene Photometer, die einfallende Lichtströme analog in Spannungen umsetzen, so lassen sich Form- bzw. Lageveränderungen, die ja immer an einer Transparenzänderung erkannt werden, ebenfalls messen.
Mit diesem als Cinedensitometrie bezeichneten Verfahren besteht die Möglichkeit der direkten Strömungsgeschwindigkeitsmessung mittels der Röntgenkinematographie. Sie hat sich bei Auswertung auch von älteren Kineangiogrammen bewährt.

Über dem zu untersuchenden Gefäßabschnitt werden zwei oder mehrere Photometer plaziert, deren Abstand vorher ausgemessen wurde. Aus der Zeitdifferenz, mit der die einzelnen Photometer die abfließende Kontrastmittelsäule registrieren, läßt sich die Flußgeschwindigkeit berechnen. Da die Breite der Kontrastmittelsäule der lichten Weite des Gefässes entspricht, lassen sich bei ermittelter Flußgeschwindigkeit auch Durchflußgrößen berechnen (RUTISHAUSER, HEUCK).

Diese Methode eignet sich auch für eine halb- oder sogar vollautomatische Auswertung, wobei die Daten sofort einem Rechenautomaten übermittelt werden. Bei der halbautomatischen Auswertung muß der Untersucher die zu registrierenden Punkte mit einem durch Mikrometerschrauben verstellbaren Fadenkreuz verfolgen. Den eingestellten x-y-Koordinatenwerten werden über Präzisionspotentiometerschaltungen bestimmte Spannungsgrößen zugeordnet, deren Werte in einen Analog-Digitalwandler gegeben werden, an den z. B. ein Lochstreifenstanzgerät gekoppelt ist. Es besteht so die Möglichkeit, einen entsprechend programmierten Rechenautomaten mit der auf dem Lochstreifen festgehaltenen Information zu füttern. Bei der vollautomatischen Auswertung geschieht die Ausmessung der x-y-Koordinatenwerte durch einen Elektronenstrahl, sog. Flying spot scanner.

Voraussetzung für das Funktionieren dieser Methode ist, daß der auszuwertende Film seine Information mit eindeutig erkennbaren Lichtpunkten wiedergibt. Das ist bei den üblichen Röntgenkinematogrammen nicht der Fall. Darum ist eine vollautomatische Filmauswertung bislang nur in speziellen Fällen wie etwa in der Sportmedizin möglich gewesen. Hier werden z. B. die Gelenke der Probanden mit kleinen Lichtquellen markiert. Um einen genügend hohen Bildkontrast zu erzielen, wird die Bewegung bei Dämmerlicht oder völliger Dunkelheit aufgezeichnet. Man erhält einen sog. Lichtpunktfilm, der dann im o. g. Verfahren ausgewertet werden kann.

Vielleicht wäre aber eine Anwendung der vollautomatischen Auswertung in der Röntgenkinematographie möglich, wenn man die neben der gewünschten zusätzlich vorhandene Information durch ein Subtraktionsverfahren eliminiert.

Auch wenn man von den halb- und vollautomatischen Methoden absieht, ist es offensichtlich, daß der apparative und normalerweise auch der Zeitaufwand für eine quantitative Auswertung um einiges größer sind als für die Laufbildbetrachtung. Mit geeigneten Geräten läßt sich die Auswertezeit beträchtlich verringern. Als geeignet wird man Geräte bezeichnen können, die folgenden Bedingungen entsprechen:

1. variable Bildfrequenz von 1 - 50 B/sec und exakte Einstellung von Frequenzstufen (16, 24 B/sec)
2. Vor- und Rückwärtslauf mit nach Umschaltung der Transportrichtung exaktem Bildstand am gleichen Ort
3. Einzelbildprojektion ohne thermische Schädigung des Films
4. Vorwahlmöglichkeit des 2., 4., ... n-ten Bildes
5. Möglichkeit der Mitprojektion von Zusatzdaten durch ausreichende Bildfenstergröße
6. exakter Bildstand - o.1 % Toleranz -
7. Hintergrundprojektion mit Koordinatensystem in der Auswerteebene

8. Rückvergrößerung auf Originalbildgröße - ca. 25 cm ϕ -
9. variable Bildausleuchtung, die eine Auswertung von Filmen bis zu einer Schwärzung von 2.5 gestattet.
10. Bedienungselemente am Beobachtungsplatz
11. Zusatzeinrichtungen: Bildzählwerk
    Umschaltmöglichkeit auf Wandprojektion, Fernsehübertragung, Photographie von Einzelbildern
    halb- oder vollautomatische Auswertung.

Die Liste dieser Forderungen enthält viele Punkte, die schon für Geräte zur Laufbildbetrachtung genannt wurden. Entsprechend sind mit Analysetischen auch qualitative Filmauswertungen möglich. Als Analysetische stehen heute zur Verfügung:

1. VANGUARD Motion Analyzer - 16 und 35 mm
2. ARRI Viewer - 35 mm
3. ARRI Analysetische Prototyp - 35 mm

Mit Einschränkung ist hier der PICKER Vertex 35 mm Analytical Projector 613 zu nennen, der eigentlich als Analyseprojektor ausgelegt ist, sich aber mit entsprechenden Zusatzeinrichtungen auch als Analysetisch bewähren kann.

Die im Rahmen dieser Arbeit benutzten ARRI Viewer und ARRI Analysetisch Prototyp haben sich bewährt. Ersterer wird im Kapitel 10 noch genauer beschrieben.

9. Aufnahmetechnik

a) Röntgenapparatur

Die Kinoserien wurden an zwei Röntgenkinoeinrichtungen des Rieder-Institutes aufgenommen, die dem eingangs erläutertem Prinzip entsprechen. Die eine Einrichtung war am SIROSKOP angebracht und an den Röntgengenerator TRIDOROS 4 (12-Pulsgenerator) der SIEMENS AG angeschlossen, die andere am DIAGNOST 70 wurde mit dem DA 1001 (ebenfalls ein 12-Pulsgenerator) der Fa. CHF MÜLLER betrieben.

Beide Anlagen enthalten hochtourige Drehanodenröhren mit Brennflecken von 1,6 und 0,6 mm Kantenlänge, wovon wegen des kurzen Fokus-Bildverstärker-Abstands zur Verminderung der geometrischen Unschärfe jeweils der kleine Brennfleck verwendet wurde. Die Röntgenbildverstärker beider Anlagen haben Eingangsschirme mit einem Durchmesser von 12,5 cm. Beide besitzen eine Helligkeitsstabilisierung, die die Helligkeit des Bildverstärkerausgangsschirm, unabhängig vom dargestellten Objekt und damit die Belichtung des Kinofilms konstant hält. Die entsprechend erforderliche Eingangsdosisleistung wird bei der Siemens-Anlage bei konstanter Stromstärke über die Röhrenspannung, bei der Müller-Anlage bei gleichbleibender Spannung über den Röhrenstrom geregelt. Mit der Siemens-Anlage ist nur Durchlaufbetrieb möglich, die Müller-Anlage besitzt eine CINEPULS-Einrichtung. Die Dosis/Bild - im wesentlichen bedingt durch den Bildverstärker, genauer dessen Alter - betrug bei der Siemens-Anlage 5 μR, bei der Müller-Anlage 10 μR. Sie ergab ein für die Auswertung noch tolerierbares Quantenrauschen.

Im einzelnen wurden folgende Werte eingestellt:

A. Müller-Anlage: 1. Spannung (unter diesen Bedingungen waren
2. Pulsbreite beim kleinen Brennfleck (0,6 mm)
3. Bildfrequenz maximal 90 mA zulässig)
4. max. Filmdauer

B. Siemens-Anlage: 1. Bildfrequenz
2. max. Filmdauer

Damit waren gewählt: ca. 75 mA Röhrenstrom, wobei eine Regelung bis zu 125 kV Röhrenspannung möglich war.

Kinematographische Ausrüstung

Beide Anlagen besitzen im Anschluß an den Bildverstärker einen 3-Kanal-Bildverteiler, an den jedoch nur eine ARRIFLEX 35 mm Kamera und eine Fernsehkamera adaptiert sind. Der Bildverteiler besitzt 3 teilweise lichtdurchlässige Spiegel, von denen zwei 90 % und einer 10 % des einfallenden Lichtes reflektieren. Während des "Kinobetriebs" fallen 90 % auf das ARRIFLEX-Kameraobjektiv und 10 % auf das Fernsehkameraobjektiv. Bei reiner Fernsehdurchleuchtung sind die Verhältnisse umgekehrt.

Die hier verwendete, aus dem Filmsektor stammende, Kinokamera ARRIFLEX 35 zeichnet sich durch eine hohe Betriebssicherheit aus. Die Bildfrequenz läßt sich stufenlos von 6 - 50 B/sec einstellen. Der Filmtransport erfolgt diskontinuierlich, wobei der Lichteinfall während der Transportzeit durch eine rotierende Sektorenblende unterbrochen wird (Hell-Dunkelsektor). Beide Sektorenblenden bilden einen Winkel von 180°, d. h. Belichtungszeit und Transportzeit sind gleich.

Zeitmessung

Für eine exakte Geschwindigkeitsmessung ist - entsprechend der Definition der Geschwindigkeit als Quotient aus Weg und Zeit - die Zeitmessung eine wichtige Voraussetzung.

Theoretisch wäre die Zeit durch die Bildfrequenz festgelegt. Da sie jedoch einer gewissen Fehlerbreite unterliegt, die für eine quantitative Auswertung zu groß ist, kann auf eine zusätzliche Zeitregistrierung nicht verzichtet werden. Nachdem mit serienmäßigen Kinokameras gearbeitet wurde, war es naheliegend, dafür die vorhandene Tonspur zu benutzen. Am Rieder-Institut sind zwei Methoden gebräuchlich:
über eine schon vorhandene EKG-Einspiegelungsvorrichtung wird eine beleuchtete Stopuhr mitaufgenommen (BARTL, PARSA).
Die zweite Möglichkeit, die auch bei diesen Untersuchungen benutzt wurde, besteht in einer Einblitzvorrichtung, die alle 0,1 sec eine Lichtpunkt auf die Tonspur aufbelichtet. Über eine Kondensatorentladung wurde eine kleine Glühbirne zum Leuchten gebracht und dieser Lichtblitz über einen lichtleitenden Glasfiberstab in die Kamera bzw. auf die Tonspur geleitet. Die Konstanz des zeitlichen Abstandes zweier Lichtpunkte wurde durch eine elektrische Schaltung von der 50-Hz-Frequenz des Wechselstromnetzes hergestellt.

Wegmessung

Als Korrelationspunkte erwiesen sich entweder Bleikügelchen mit definierten Abständen in einem Plexiglasstab geeignet oder ein Drahtgitter, das aus in eine runde Plexiglasscheibe eingebetteten Silberdrähten bestand. Ein

solches Drahtgitter hat den Vorteil, daß auch am Bildrand sich abspielende Bewegungen die Randverzerrung (sog. pillow distorsion) durch den Bildverstärker und das optische System mitmacht. Fast ausschließlich wurde aus diesem Grunde das Drahtgitter benutzt.

e) Filmmaterial und -verarbeitung

Alle Kinoszenen wurden auf dem panchromatischen 35 mm Negativfilm GEVAPAN 30 der Fa. AGFA-GEVAERT aufgenommen. Dieser nicht speziell für röntgenkinematographische Zwecke produzierte Film hatte unter den Entwicklungsbedingungen im Rieder-Institut eine Empfindlichkeit von ca. 22° DIN. Die Entwicklung erfolgte mit dem COMBILABOR der Fa. DE OUDE DELFT bei einer Temperatur von 22° C und einem Vorschub von 100 m/h, dem umgerechnet eine Entwicklungszeit von 3,2 min entspricht. Die Entwickler- und Fixierkonzentrate lieferte die Fa. ADEFO, mit denen ungefähr ein γ von 1, 2 erreicht wurde.

f) Methode der Kontrastmitteldarstellung

Die Kontrastfüllung des Duodenum erfolgte im Rahmen einer aus klinischen Indikationen durchgeführte Magen-Brei-Passage. Dabei wurde das im Rieder-Institut übliche Kontrastmittel UNIBARYT der Fa. RÖHM & HAAS ohne jegliche Zusätze verwendet. Nach Angabe des Herstellers besitzt UNIBARYT folgende Eigenschaften:

Spezifisches Gewicht: 1. 77 - 1. 83 bei Ansatz nach Vorschrift
pH-Wert: annähernd neutral pH 6 - 7
Osmolarität: annähernd blutisotonisch
Viskosität bei Raumtemperatur: im DIN-Becher 150 ml/20 - 50 sec
Zusammensetzung: Kolloide und Saccharose 8 %, $BaSO_4$ ad 100

g. Apparatur zur analytischen Filmauswertung

Anfänglich wurden die Kinoszenen - insgesamt etwa 10 % - mit Hilfe eines PHILIPS-Schneidetisch und eines üblichen Vergrößerungsgerät für Kleinbildfilme ausgewertet.

Der Film wurde am Schneidetisch nach interessanten Bewegungsphasen durchgemustert und markiert. Mit dem Vergrößerungsgerät wurde dann jedes 6. Kinobild auf Original-Organgröße (= 2 cm Kantenlänge des Drahtgitters) rückvergrößert und die Organkonturen auf einem Zeichenpapier nachgezogen.

Insgesamt war dies Verfahren recht zeitraubend. Zudem wurden durch die vielen Manipulationen - Betrachtung im nicht sehr filmschonenden Schneidetisch, Durchschieben des Films durch das Vergrößerungsgerät, langes Verweilen eines Kinobildes unter der heißen Vergrößerungslampe - stark beschädigt. Häufig war ein späteres Umkopieren deshalb unmöglich.

Eine entscheidende Erleichterung brachte die großzügige Zurverfügungstellung des ARRI-Viewer in der Universitätsnervenklinik München durch Herrn Prof. Dr. med. DECKER.

Dieses Analysegerät ist eigentlich für militärische Zwecke konstruiert worden. Bei der NATO wird es besonders zur Auswertung von Radaraufnahmen benutzt. Sieht man von den hohen Anschaffungskosten und den großen Abmessungen ab, so entspricht dieser Analysetisch fast allen genannten Forderungen.

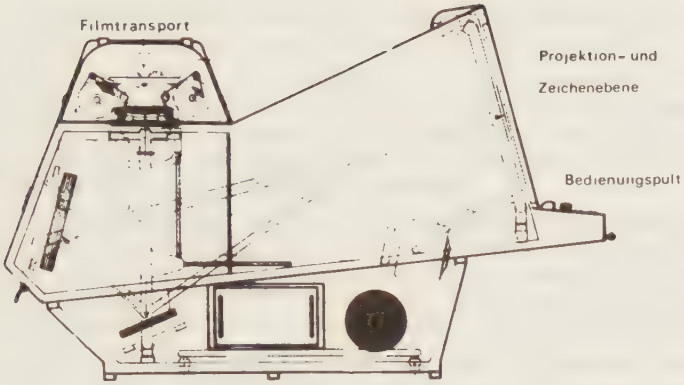


Abb.17 ARRI-Viewer

Er besitzt

1. Hintergrundprojektion mit Zeichenmöglichkeit
2. Bedienungselemente am Arbeitsplatz
3. Vor- und Rückwärtslauf mit Einzelbildschaltung
4. variable Bildfrequenz von 3 - 50 B/sec
5. 30fache und 60fache (=Ausschnittsvergrößerung) Vergrößerung
6. Verschiebungsmöglichkeit der Ausschnittsvergrößerung in der Auswerteebene
7. hohe Meßgenauigkeit
8. variable Leuchstärke der Projektionslampe.

Auf eine in der Projektionsebene sich befindende Glasscheibe wird zur graphischen Auswertung Transparentpapier gelegt, das an die Scheibe durch den von einem Ventilator erzeugten und an seitlichen Schlitzen auftretenden Luftsog fixiert wird.

Eine Schwierigkeit ergab sich bei der Einzelbildschaltung, da es nach Wechsel der Transportrichtung beim nächsten projizierten Bild nicht zum Bildstand am gleichen Ort kam. Dies ließ sich aber durch Verschieben der Zeichenfläche ausgleichen.

11. Technik der Zeichenauswertung

Wie schon bei der Auswertung am PHILIPS-Schneidetisch beschrieben, wurde auch hier als erste der ganze Filmstreifen nach wichtigen Bewegungen durchgesehen. Dann wurden auf dem Transparentpapier bei 30facher Vergrößerung die Kontrastmittelkonturen und die mitaufbelichteten Orstmarkierungen meist jedes 6. Bildes zeichnerisch festgehalten. Es ergaben sich so Bewegungsskizzen, die sich mit den GROEDELschen Serienpausen vergleichen lassen.

Die Schärfe des Kinobildes erlaubte es, auch die KERCKRINGschen Falten bzw. die durch sie hervorgerufenen Einsenkungen in den Kontrastmittelschatten zu erfassen. Sie bildeten häufig einen wichtigen Anhaltspunkt zur Verfolgung der Duodenalwand während einer Bewegungsphase.

Die Auswertung wird wesentlich erleichtert, wenn man die Wandkonturen in den einzelnen Kinobildern jeweils verschiedenfarbig markiert.

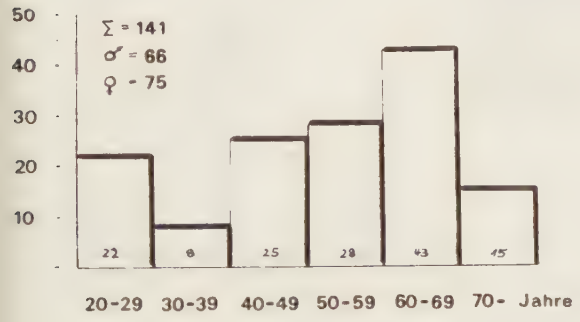
Meist reichte ein Zeitraum von 3 sec (= 13 Phasenbilder bei einer Aufnahmefrequenz von 24 B/sec) aus, um den ganzen Ablauf einer Bewegung zu erfassen. Dauerte die Bewegung und länger oder schloß sich an die untersuchte unverzüglich eine neue Bewegung an, so wurde auf dem nächsten Papierbogen die letzte Bewegungsphase noch einmal markiert.

Pulsatorische Bewegungen am Bulbus oder dem unteren Duodenalknie wurden mit 60facher Vergrößerung analysiert. Dabei war es manchmal wegen der zu geringen Kontrastsprünge zwischen Kontrastmittelfläche und umgebenden Gewebe schwierig, die Wandkonturen genau festzulegen. Deshalb wurden Positivkopien angefertigt, die einen höheren Bildkontrast ergaben.

Da sämtliche Aufnahmen bei Atemstillstand gemacht wurden, brauchte keine Korrektur der Atemverschiebungen erfolgen.

Patientengut

Insgesamt wurden 141 Pat. kinematographiert, davon waren 66 Pat. männlichen und 75 Pat. weiblichen Geschlechts. Die Altersverteilung zeigt Tab. 1.



Tab.1 Altersverteilung

Infolge aufnahmetechnischer Fehler, Filmverarbeitungsfehler oder falschen Verhaltens des Pat. - während der Aufnahme der Kinoserie (Dauer meist 20 sec) sollte der Pat. den Atem anhalten - waren 18 Filme nicht auswertbar.

Die verbliebenen 123 Kinoserien stammen sowohl von normalen (69) als auch von pathologischen Fällen (54), deren Diagnose z. T. schon durch vorausgegangene röntgenologische, histologische oder Untersuchungen im Gastro-Enterologischen Labor der II. Med. Universitätsklinik München (Leiter: Prof. Dr. med. FORELL) bekannt waren oder z. T. erst bei der Magen-Brei-Passage festgestellt wurden.

In der Reihenfolge der Häufigkeit handelte es sich um folgende Erkrankungen:

13 x Pankreatitis
11 x Zustand nach Ulcus duodeni
7 x Gastritis

5 x praepylorisches Magenkarzinom
4 x florides Ulcus duodeni
2 x periduodenale Verwachsungen (chirurg. nachgewiesen)
2 x Duodenum mobile
2 x Ovarialkarzinom mit Metastasen
2 x Pankreskopfkarzinom
2 x M. HODGKIN
2 x chron. myeloische Leukämie
1 x M. WERLHOF
1 x spontane Choledocho-Duodenalfistel.

Ergebnisse

) absolute Geschwindigkeiten

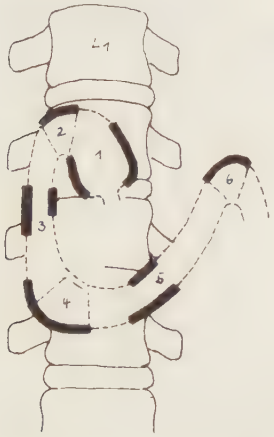


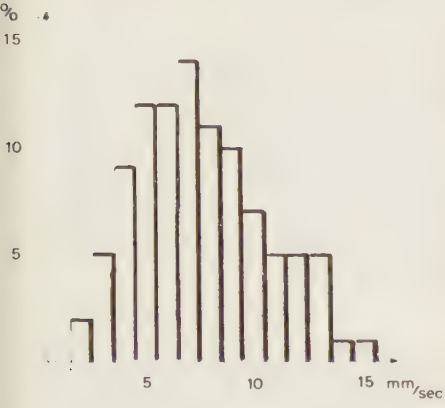
Abb. 18 Häufigkeitsverteilung aller erfaßten Duodenalbewegungen

Nebenstehende Abbildung zeigt von 123 Fällen die Häufigkeitsverteilung der Orte, an denen Duodenalbewegungen registriert werden konnten.

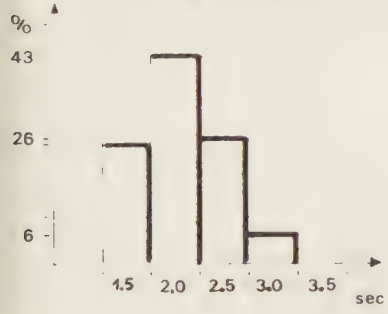
Die später noch genauer zu besprechenden Bewegungen des Bulbus wurden immer senkrecht zur Wandkontur gemessen (s. Abb. 19). Bedingt durch die von der Bulbuskontraktion abweichende Bewegungsform der übrigen Duodenalabschnitte (s. Abb. 19 re.) wurde versucht, die Verschiebung von Bezugspunkten - z. B. der KERCKRINGschen Falten - während der Bewegung zu verfolgen.

Abb. 19

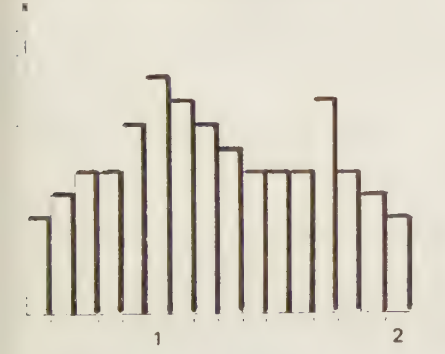
Bulbus duodeni



Tab. 2 aktive Bulbusbewungen



Tab. 3 Zeitdauer der Bulbusaktionen



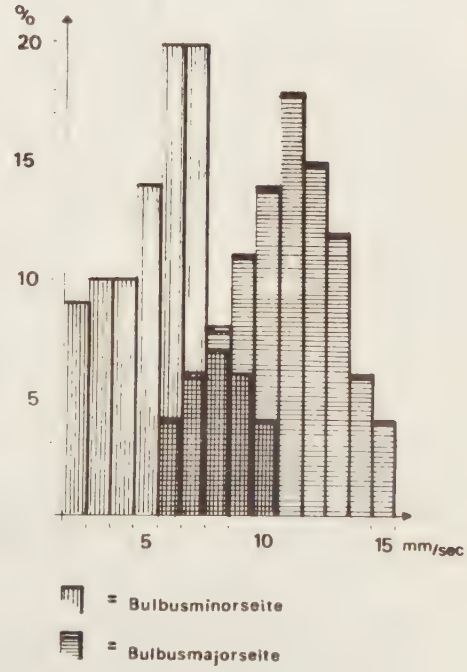
b. 4 Amplitude der Bulbusaktionen

Bei einem jeweiligen Zeitabstand der einzelnen Bewegungsskizzen von 0,25 sec (= jedes 6. Bild bei 24 B/sec) konnten am Bulbus insgesamt Geschwindigkeiten von 2 bis 16 mm/sec gemessen werden. Die prozentuale Verteilung zeigt Tab. 2.

Ein Unterschied zwischen Geschwindigkeiten in den Fällen, in denen die Bulbuskontraktion keinen Kontrastmittelauswurf bewirkte, und denen mit einer Austreibungskontraktion konnte nicht gefunden werden.

Die erfassten Bewegungszyklen waren spätestens nach 3 sec vollständig beendet (Tab. 3), dabei wurden Wegstrecken bis zu 2 cm zurückgelegt (Tab. 4).

Auffallend war, daß majorseitig größere Geschwindigkeiten als minorseitig gemessen wurden (Tab. 5). Bei knapp 50 % der Messungen traten an der Majorseite des Bulbus Geschwindigkeiten zwischen 10 und 12 mm/sec auf, während minor-



Tab. 5

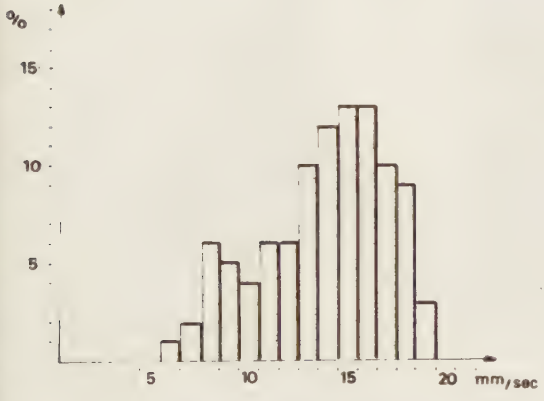
seitig bei über 50 % der gemessenen Werte 5 bis 7 mm/sec erreicht wurden.

Eine genauere Betrachtung der Bulbusformen ergab dann, daß über 70 % der Pat. mehr querliegende Bulbi besaßen, bei denen die Austreibungskontraktion besonders von der Majorseite ausging und hier höhere Geschwindigkeiten zu messen waren.
Im Fall von steilstehenden Bulbi waren die Amplituden und Geschwindigkeiten major- wie minorseitig gleich (vgl. Abb. 22 a).

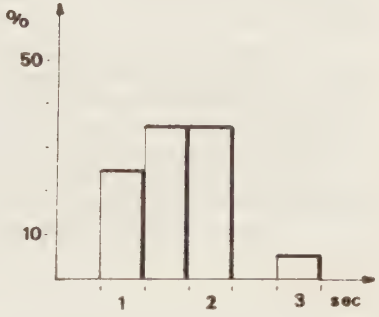
Bei frischen und abgeheilten Ulzera waren die gemessenen Bewegungsgeschwindigkeiten gleich denen der Majorseite bei normalen Fällen (= 2. Geschwindigkeitsgipfel in Tab. 5).

Oberes Duodenalknie

Im Anschluß an eine Bulbuskontraktion trat häufig (40 %) eine segmentäre Kontraktion om oberen Duodenalknie auf. Die Folge war eine bipolare Verschiebung des Kontrastmittels mit einem meist geringen, aber fast immer erkennbaren Reflux in den Bulbus und einer analwärts gerichteten Austreibung, die oft (ca. 12 %) ausreichte, das Kontrastmittel bis ins untere Duodenalknie zu befördern. Peristaltische Bewegungen wurden in keinem Fall beobachtet.



Tab. 6 oberes Duodenalknie - Segmentation



Tab. 7 Zeitdauer

Bei über 50 % lagen die Geschwindigkeiten zwischen 12 und 17 mm/sec.

Die zurückgelegten Wegstrecken waren bei Kontraktionen der weniger gekrümmten lateralen Wand der Flexur größer bei denen der medialen Wand. Bei mehr als der Hälfte der beobachteten Bewegungen am oberen Knie kontrahierte sich nur die äußere Wand. Fast immer wurde durch die Kontraktion das Darmlumen an dieser Stelle völlig geschlossen.

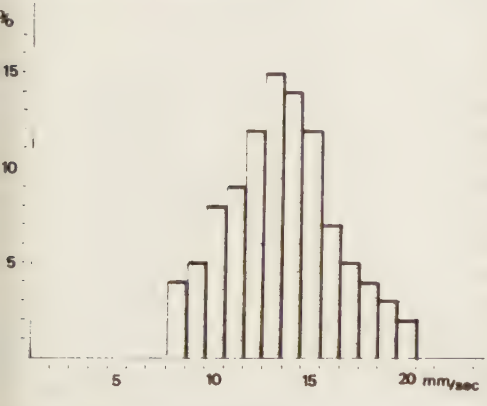
Es ließ sich keine auffallende Geschwindigkeitsdifferenz bei den pathologischen Fällen finden. Lediglich beim Ulkus an der Bulbusspitze erschien das obere Knie starr und enger. Der Kontrastbrei wurde vom Bulbus her hindurchgespritzt. Bei einem der 7 untersuchten Gastritiden ergab sich

ein verlängerter Kontraktionsablauf mit 3,5 sec (vgl. Tab. 7) und einer konstanten Geschwindigkeit von 5 mm/sec. Insgesamt war hier die Duodenalpassage zeitlupenhaft verlangsamt.

Pars descendens

Bei 12 % der normalen Duodenalpassage war auch nach längerem Studium der Filmszenen nicht auszumachen, ob an der Pars descendens während der Breipassage Bewegungen abgelaufen waren oder die Veränderungen des Kontrastschattens nur durch ein entsprechend der Schwerkraft Herabfließen der Breimassen hervorgerufen waren. Es handelte sich bei diesen Fällen nicht um das charakteristische "Gießkannenphänomen".

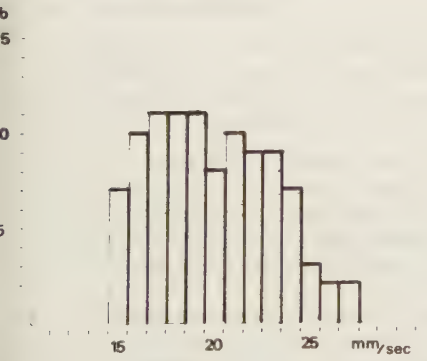
Die übrigen Filmszenen ließen eindeutig sowohl segmentäre Kontraktionen wie peristaltische Welle erkennen. 70 % aller registrierten Bewegungen konnten als segmentäre, der rest als peristaltische Bewegungsformen eingeordnet werden, wobei erstere bei normalen und pathologischen und letztere in diesem Untersuchungsmaterial nur bei normalen Fällen beobachtet werden konnte.



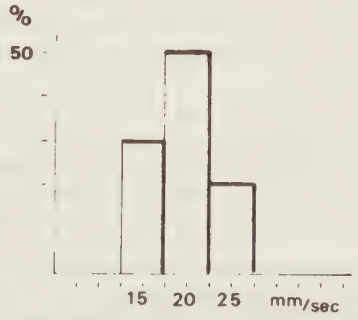
Tab. 8 Pars descendens – Segmentation

Die gemessenen Geschwindigkeiten bei beiden Bewegungstypen geben die Tab. 8 und 9 wieder, aus denen man entnehmen kann, daß besonders die Segmentation um 15 mm/sec - ähnlich der am oberen Duodenalknie - eine ausgesprochene Geschwindigkeitshäufung um etwa 13 mm/ sec aufweist.

Die peristaltischen Bewegungsgeschwindigkeiten sind etwas weiter gestreut, weisen aber auch eine signifikante Häufung um 20 mm/sec auf. Die Geschwindigkeiten, mit denen eine peristaltische Welle über die Pars descendens hinwegläuft, waren mit 50 % bei 20 mm/sec sehr konstant.



ab. 9 Pars descendens – Peristaltik



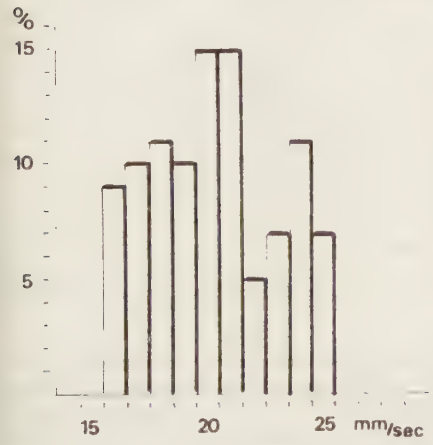
Tab. 10 Pars d. – Geschwindigkeit der peristaltischen Welle

Es fiel auf, daß peristaltische Wellen nur in der unteren Hälfte der Pars descendens auftraten und in keinem der untersuchten Fälle am unteren Knie ausliefen, sondern immer die Flex. duodeno-jejunalis erreichten.

62 % aller segmentären Kontraktionen wurden in Höhe der Papilla VATERI beobachtet, wobei sich zumeist etwa ein 3 cm langes Dramstück kontrahierte.

Schon bei Laufbildbetrachtung fiel en bei folgenden Pat. ruckartige, als spastische Kontraktionen zu bezeichnende Bewegungen auf:

3 Pat. mit frischem Ulkus duodeni
3 Pat. mit Zustand nach Ulkus duodeni
2 Pat. mit Verwachsungen an der Pars descendens - obere Hälfte -
2 Pat. mit Pankreatitis
1 Pat. mit einer spontanen Choledocho-duodenalfistel



Tab. 11 Pars d. – Spastik

Die Messungen ergaben die in Tab. 11 eingetragenen Geschwindigkeiten. Man sieht, daß die Werte zwar eindeutig über denen der normalen Segmentation liegen, aber keine eindeutige Betonung eines Wertes zwischen 16 und 26 mm/sec aufweisen.

Bei einem schon erwähnten Fall von Gastritis wurden im oberen Drittel Segmentationen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 3 mm/sec über einen Zeitraum von 4 sec beobachtet.

Ein geringgradiger Kontrastmittelreflux wurde bei fast allen segmentären Kontraktionen beobachtet und auch bei knapp 25 % der peristaltischen Bewegungen.

"Antiperistaltik" konnte in keinem Fall beobachtet werden.

Unteres Duodenalknie

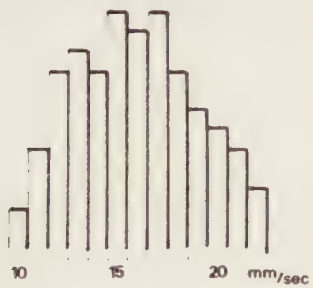
Es konnten bei der graphischen Auswertung zwei in ihrer Auswirkung unterschiedliche Bewegungen festgestellt werden, die auch schon bei der Laufbildbetrachtung erkennbar waren. Eindeutig segmentäre Kontraktionsformen waren nicht nachzuweisen.

Bei den Normalfällen überwog die propulsive Motorik, wobei besonders die am meisten gedehnte untere Kontur des Knies die Bewegung ausführte. Zwischen diesen Kontraktionen lagen Pausen von meist 10 sec Dauer, die durch unregelmäßige Ausweitungen und Einziehungen der unteren Kontur gekennzeichnet waren. Diese Bewegungen erfaßten maximal Strecken von 2 cm.

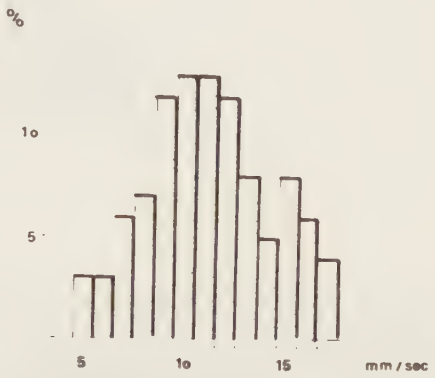
Die inhaltsentleerende, peristaltische Kontraktion zeigte Geschwindigkeiten von 10 bis 24 mm/sec mit einer deutlichen Häufung um 16 mm/sec (Tab. 12). Fast regelmäßig kam es zu einem mehr oder weniger starken Reflux in das untere Drittel der Pars descendens, wo der Kontrastbrei meist kugelförmig liegen blieb. Ein Reflux bis in den Bulbus wurde bei sonst unauffälliger

Magen-Brei-Passage aber nur in 2 Fällen gesehen. Die peristaltische Aktion war im Mittel nach 1.65 sec am unteren Knie beendet. Etwas mehr als 20 % der Kontraktionen waren inkomplett, ohne daß eine Passagebehinderung zu erkennen war. Das Kontrastmittel sank dabei wieder ins untere Knie zurück, um bei der nächsten Kontraktion endgültig weiter geschoben zu werden.

Die zwischen den Propulsivkontraktionen auftretende Bewegung hatte bei den gemessenen Werten eine Häufung um 10 mm/sec bei einer durchschnittlichen Bewegungsdauer von 1.8 sec.



Tab. 12 unteres Duodenalknie – Peristaltik



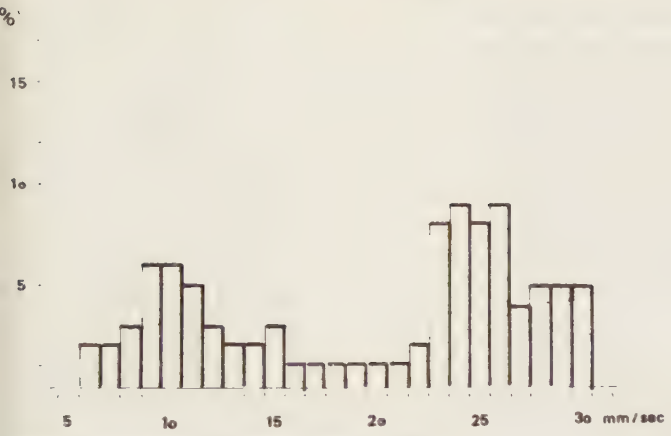
Tab. 13 Bewegungen der unteren Wandkontur in den Pausen peristaltischer Aktivität

Bei 8 Fällen von Pankreatitis, 2 von floriden Duodenalulzera, 1 Fall eines präpylorischen Magenkarzinom, 1 M. HODGKIN mit Stenosierung der Flex. duodeno-jejunalis, 1 M. WERLHOF, 1 Fall einer Choledocho-duodenalfistel und bei 12 ohne klinische Gründe sehr mageren Pat. waren die Geschwindigkeiten bei propulsiver Kontraktion zwar mit den normalen Fällen identisch, aber die Zeitabstände zwischen den einzelnen Kontraktionen bis auf 30 sec ausgedehnt. Man konnte dafür eine erhöhte Aktivität von unkoordinierten Bewegungen beobachten, die im Laufbild als ein Hin- und Herpendeln des Kontrastmittels mit intermittierten spastischen Kontraktionen imponierten. Die Messung der Geschwindigkeiten und eine graphische Auftragung (Tab. 14) ergab einen Gipfel bei 10 mm/sec und einen bei 25 mm/sec. Der erste Gipfel entspricht etwa den gemessenen Geschwindigkeiten bei normalen Fällen, jedoch war die durchschnittliche Bewegungsdauer mit 2.6 sec bedeutend länger. Der Grund ist darin zu finden, daß häufig die Bewegung in ihrem Ablauf für 0.5 bis 1.0 sec innehielt, um dann weiterzulaufen.

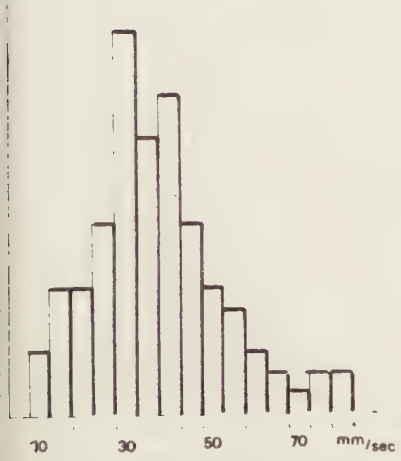
Die mittlere Kontraktionsdauer der Bewegungen, die Geschwindigkeiten in der Größe um den zweiten Gipfel aufwiesen, lag bei 0.7 sec. Das ist knapp die Hälfte der Zeit, in der die normalen peristaltischen Kontraktionen abliefen.

Diese blitzartigen Bewegungen riefen häufig eine massiven Kontrastmittelreflux bis in den Bulbus und beim präpylorischen Magenkarzinom bis ins Antrum pylori hervor, da hier der Pylorus insuffizient war.

Obwohl es sich hierbei nicht um typische propulsive Kontraktionen handelte,



Tab. 14 unteres Duo-Knie: Pendelbewegung



ab. 15 Geschwindigkeit des KM-Vorschub aus dem unteren Knie

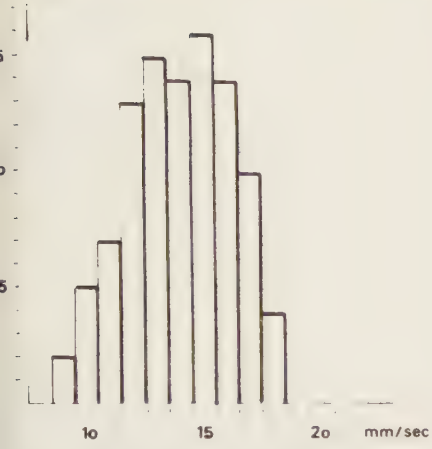
kam es genau so häufig zu einer Kontrastmittelförderung in die Pars ascendens, nur selten aber zu einer Weiterbeförderung durch peristaltische Wellen. Das Kontrastmittel floß langsam wider zurück, um abermals in den Anfangsteil der Pars ascendens ausgeworfen zu werden.

Verfolgte man die Front eines aus dem unteren Knie ausgetriebenen Kontrastmittelbolus, so konnten in Tab. 15 abgetragene Geschwindigkeiten gefunden werden.

Pars ascendens

Die vorwiegende Bewegungsart war die peristaltische Kontraktion, die die aus dem unteren Knie ausgeworfenen Kontrastmittelmengen bis zur Flex. duodeno-jejunalis beförderten. Ein längerer Stop des Bewegungsablaufs war in keinem Fall zu beobachten. Nur 18 % der registrierten Bewegungen waren als Segmentation zu bezeichnen.

Bei 33 % beteiligte sich an der peristaltischen Aktion nur die äußere Darmwand. Der Rest zeigte eine gleichschnelle, gleichgroße Beteiligung beider Darmkonturen.

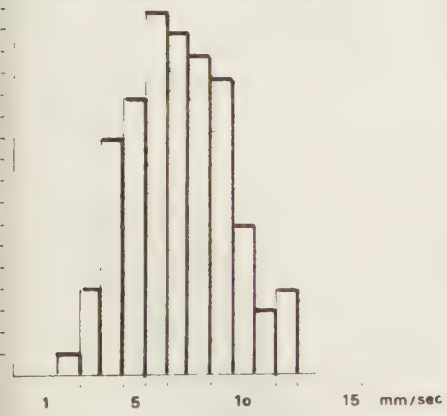


Tab.16 Pars ascendens - Peristaltik

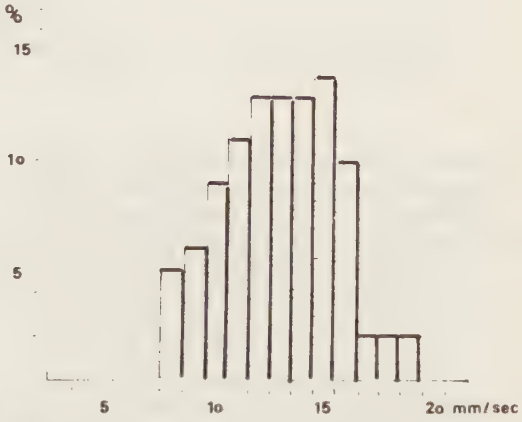
Die Geschwindigkeiten, mit denen sich bei einer peristaltischen Kontraktion die Darmwände bewegten, zeigt Tab. 16. Hierbei wurde ein geringer Kontrastmittelreflux in das untere Duodenalknie recht häufig, manchmal auch in den unteren Abschnitt der Pars descendens beobachtet.

Bei Segmentationsbewegungen, die mit einer Geschwindigkeitsverteilung - wie sie in Tab. 17 wiedergegeben ist - ablaufen, kam es durch die bipolare Kontrastmittelbewegung sehr oft zu einem Reflux bis ins untere Knie.

Besonderheiten im Bewegungsablauf oder den gemessenen Geschwindigkeiten konnten bei den pathologischen Fällen nicht festgestellt werden.



b. 17 Pars ascendens - Segmentation



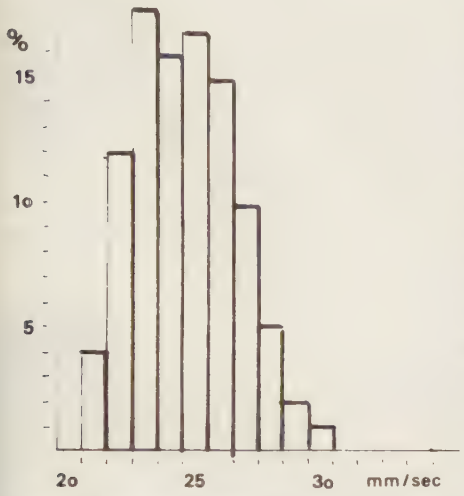
Tab.18 Flex. duodeno-jejunalis - Segmentation

Flex. duodeno-jejunalis

Der Übergang ins Jejunum war wegen der häufigen Überlagerung durch den Kontrastmittelgefüllten Magen nur in 23 Fällen eindeutig dargestellt. Die hier gemessenen Geschwindigkeiten gibt Tab. 18 wieder.

Außer bei einem Pat. mit M. HODGKIN und entsprechenden abdominellen Lymphknotenvergrößerungen, die eine Verlegung und Stenosierung dieses Duodenalabschnitts zur Folge hatten, konnten keine abnormen Bewegungen oder Geschwindigkeiten gemessen werden.
Hauptsächlich (90 %) ging die Bewegung von der oberen Kontur aus. Zu beobachtende peristaltische Wellen in der ersten Jejunalschlinge nahmen bei 20 der 23 Fälle hier ihren Ausgang.

Pulsationen



Tab.19 Pulsation - Bulbus und A. mesenterica sup.

Besonders in Phasen peristaltischer Ruhe fiel schon bei der Laufbildbetrachtung eine pulsatorische Bewegung am Bulbus (z. T. auch noch am oberen Duodenalknie) auf.

Im weiteren Verlauf des Duodenum konnten zudem bei 10 der erwähnten 12 sehr magerer Pat., beim M. WERLHOF, bei 3 Pat. mit Erkrankung der Bauchspeicheldrüse und bei einem präpylorischen Magenkarzinom Pulsationen am Übergang vom unteren Duodenalknie zur Pars asecendens, dem Ort des Aufliegens der A. mesenterica sup., beobachtet werden.

Die Messung der Geschwindigkeiten ergab Werte, die in Tab. 19 abgetragen sind.

b) Bewegungsformen

Bulbus

Abb. 20

Durch die pyloruswärts laufende peristaltische Welle an der Major- und Minorseite des Magens wird unter zunehmendem Innendruck das Antrum pylori abgeschnürt. Bei genügend hohem Druck öffnet sich der Schließmuskel des Pylorus und es kommt sehr schnell zur Auffüllung des Bulbus duodeni (Abb. 20).

Ist der Inhaltsdruck bzw. der zeitliche Anstieg des Druckes auf die Bulbuswände groß genug, so kontrahiert sich der Bulbus ungeachtet, ob der Pylorus schon geschlossen ist oder die Austreibungsphase des Antrum pylori noch andauert. Zumeist kommt es bei offenem Pylorus nicht zu einem bulbo-gastrischen Reflux, da der Druckgradient zwischen Antrum und Bulbus dies verhindert. Sind die peristaltischen Wellen des Magens aus irgendeinem Grund sehr flach, sodaß sie nicht zu der notwendigen Abkammerung des Antrum ausreichen, kann es bei noch offenem Pylorus zu einem Reflux von Kontrastmittel kommen. Dies konnte bei 3 Pat. mit sonst unauffälliger Magen-Brei-Passage und einem Fall einer

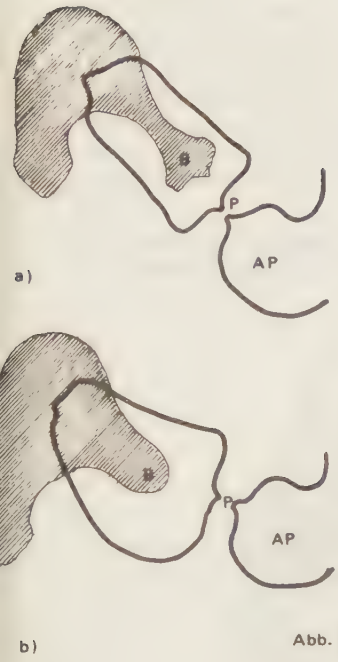


Abb. 21

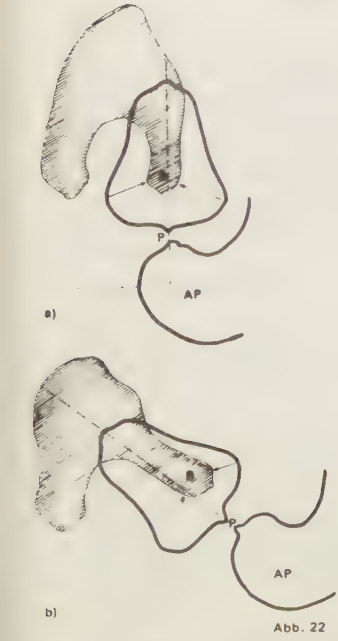


Abb. 22

Pylorusinsuffizienz durch ein präpylorisches Magenkarzinom beobachtet werden.

Wie Abb. 21 a+b verdeutlichen sollen, konnten 2 Bulbuskontraktionsformen beobachtet werden. Dabei ließ sich eine Beziehung zur Bulbusform erkennen: bei mehr zylinderähnlichen (Abb. 21 a), im Röntgenbild rechteckig erscheinenden Bulbi trat sehr häufig eine ringförmige Kontraktion etwa in Bulbusmitte auf, die den größten Teil des Inhalts austrieb. Regelmäßig blieb hier ein kleiner dreieckiger Kontrastmittelrest bulbusbasisnah zurück.

Zwiebelförmige bzw. kegelförmige Bulbi (Abb. 21 b) zeigten dagegen eine echte systolische Kontraktion. Bei diesem Bulbustyp blieb meist kein Kontrastmittel im Bulbus zurück. Bei einigen Fällen füllte sich der Bulbus nach der Kontraktion mit geringen Mengen von aus dem oberen Knie stammenden Kontrastmittel. Bei der Laufbildbetrachtung schien es, als wenn das Kontrastmittel durch die Erschlaffung der Bulbuswände in den Bulbus gesogen würden.

Vergleicht man major- und minorseitig die Kontraktionsamplituden, so stellt sich je nach Lage der Bulbuslängsachse folgendes dar (vgl. Abb. 22 a+b):

Bei steilstehendem Bulbus waren die Amplituden von Major- und Minoseite nahezu gleich, während bei mehr horizontaler Ausrichtung die Majorseite die eindeutig größere Kontraktionsbewegung ausführte.

Größtenteils veränderte sich die Ausrichtung der Bulbuslängsachse bei den einzelnen Pat. während der Beobachtungszeit nicht. Doch kam es bei einigen Fällen zu einer Änderung der Bulbuslage aus einer bei Reliefdarstellung horizontalen in eine bei Vollfüllung mehr senkrechte. Eine eindeutige Änderung der Kontraktionsamplitude entsprechend Abb. 22 war aber nicht zu sehen, da diese Fälle zu geringe Bulbusbewegungen aufwiesen und häufig allein die Antrumsystole die Kontrastmittelförderung durch den Bulbus besorgte.

Oberes Duodenalknie

Diese häufig als bulbo-duodenaler oder apico-bulbärer Sphinkter bezeichnete Region ist durch eine Häufung segmentärer Kontraktionen charakterisiert. Besonders nach einer Bulbuskontraktion (40 %) kam es - wie zum Abschluß einer Bulbuskontraktion - zum aktiven Verschluß dieses Darmstücks. Einschränkend muß gesagt werden, daß bei einigen Fällen nicht auszumachen war, wo die Bulbusspitze aufhörte und die obere Flexur anfing.

Bei Messung der Amplituden fiel auf, daß die obere Wandkontur den größere Weg beschrieb (Abb. 23).

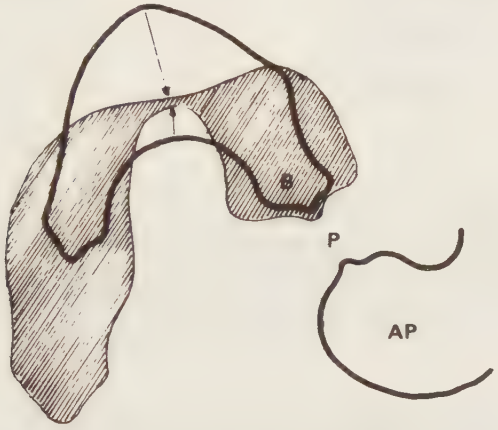


Abb. 23

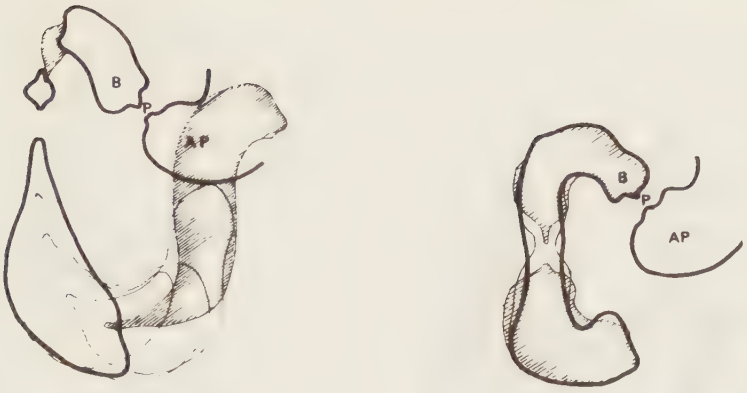
Ein Grund wäre die größere Vordehnung, da man besonders bei Laufbildbetrachtung eine Hebung der Bulbusspitze und der oberen Flexur beobachten konnte, wenn der Bulbusinhalt ausgeworfen wurde. Es kann aber auch sein, daß die größere Amplitude einfach durch ein entsprechend der Schwerkraft passives Abfließen des Kontrastmittels hervorgerufen wurde. Im übrigen war es in diesem Duodenalabschnitt schwierig, allein röntgenkinematographisch zwischen aktiven und passiven Bewegungen zu unterscheiden.

Pars descendens

Wie schon erwähnt, konnten 12 % der Kinoszenen nicht zur Geschwindigkeitsmessung herangezogen werden, da nicht eindeutig klar war, ob hier passive oder aktive Bewegungen vorlagen.

In diesem fast senkrecht verlaufendem Duodenalteil herrschen segmentäre Kontraktionen vor (Abb. 24 b auf der nächsten Seite), die aber häufig - bedingt durch den Darmverlauf - die gleiche inhaltsfördernde Wirkung haben wie peristaltische Wellen. Über 60 % aller Segmentationsbewegungen traten in Höhe der Papilla VATERI (sog. Sphinkter KAPANDJI oder BUSI) auf, wobei zunächst zwar nur nur an einer Stelle des Darmlumen verschlossen wurde, endgültig aber ein Darmstück von ca. 3 cm Länge sich kontrahierte.

Peristaltische Motorik (Abb. 24 a auf der nächsten Seite) setzte in allen



a) Peristaltik

b) Segmentation

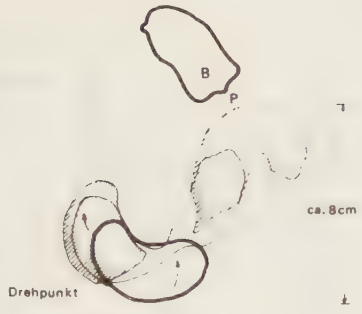
Abb. 24

Fällen erst nach der Papilla VATERI ein. Auffallend regelmäßig lief die Welle zwar mit einer sichtbaren Verlangsamung der Passage am unteren Knie aber ohne Stop bis zum Ende des Duodenum ab. Peristaltik der Pars descendens trat ausnahmslos bei gesunden Fällen mit kräftiger Magenmotorik und entsprechend hohem "Pylorusausflußvolumen" (SAUVEGRAIN) auf. Das läßt den Schluß zu, daß auch hier zur Auslösung einer peristaltischen Welle der Inhaltsdruck entscheidend ist.

Unteres Duodenalknie

Neben dem Bulbus war dieser Duodenalteil der bevorzugte Ort, an dem Bewegungen abliefen. Der Grund liegt sicher nicht in einer spezifischen Wandkonstruktion dieses Darmstückes, sondern in der Tatsache, daß hier die Bewegungsrichtung wie in einer "Haarnadel-Kurve" aus einem absteigenden in einen aufsteigenden Schenkel um etwa 130° geändert werden muß und vom Scheitelpunkt der Kurve bis zum Ende des Duodenum etwa eine Hubhöhe von 8 cm zu bewältigen ist.

Abgesehen von den aus der Pars descendens ankommenden peristaltischen Wellen schoppte sich häufig recht langsam das Kontrastmittel zu einem großen Depot an. Es traten zunächst leicht schaukelnde Bewegungen auf, wie sie Abb. 25 b auf der nächsten Seite wiedergibt. War die Di stension ausreichend, dann kontrahierte sich fast immer nur die untere Darmkontur auf die in Abb. 25 a auf der nächsten Seite wiedergegebene Weise und initiierte eine peristaltische Welle, die sich in der Pars ascendens fortsetzte. Regelmäßig kam es zu einem relativ großen Kontrastmittelreflux in Richtung auf die Papilla VATERI.
Segmentationsbewegungen im eigentlichen Sinne wurde kein einziges Mal beobachtet. Die zwischen den peristaltischen Schüben zu beobachtende Motorik wie auch der Beginn einer peristaltischen Welle bewegte sich zumindest in der zweidimensionalen Projektion des Kinobildes um einen in Abb. 25 a+b markierten Punkt. Dieser von mir als "Fix- oder Drehpunkt" bezeichnete Ort ließ sich bei allen Phasenskizzen mit großer Häufigkeit feststellen. Die obere, stärker gekrümmte Darmwand zeigte fast nie



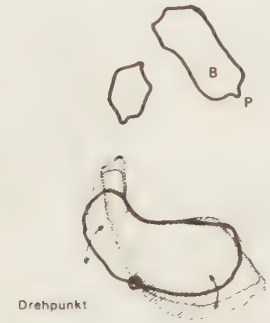


Abb. 25

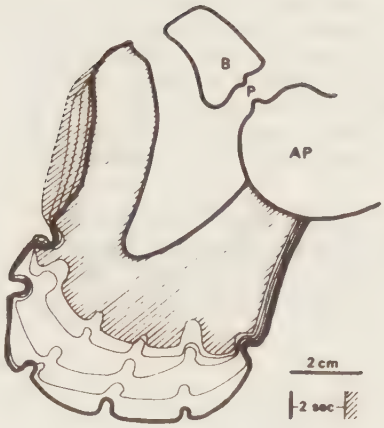
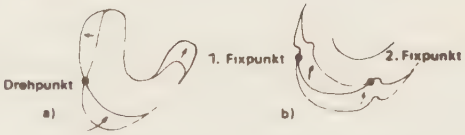


Abb. 26



Bewegungen. Abb. 26 gibt das Vorhandensein von 2 Fixpunkten bei der die Peristaltik vorbereitende Hebung der unteren Darmkontur:

in der ersten Phase der Bewegung (1 sec) kontrahiert bzw. hebt sich die untere Darmwand vom linken Fixpunkt aus, um dann in der zweiten Phase (1 sec) auf den rechten Fixpunkt umzuschwenken (Abb. 26 b). Die untere Darmkontur scheint wie auf einer Leiter hochzuklettern. Der linke Fixpunkt stellt zudem einen Drehpunkt dar (Abb. 26 a), um den proximal die Lateralwand der Pars descendens passiv ausgedehnt wird.
Abb. 26 ist eine Umzeichnung einer Kinoserie eines Pat. mit nachgewiesener chronischer Pankreatitis (Prof. FORELL). Diese Bewegungsform war aber sowohl bei normalen als auch bei pathologischen Fällen zu beobachten.

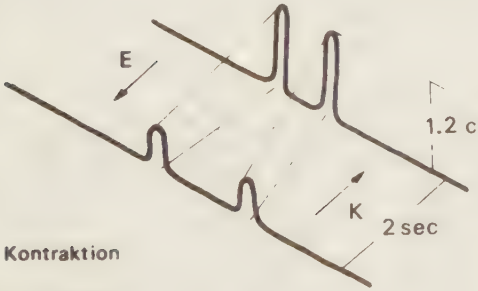
Die genaue Analyse besonders durch Verfolgung der hier sehr prominenten KERCKRINGschen Falten ergab weiter folgendes (Abb. 27 a+b auf der nächsten Seite):

je nach Lage des Fixpunktes der aktiven Bewegung beschrieben die KERCKRINGschen Falten einen anderen Verlauf.
Liegt der Fixpunkt auf der Seite der Pars descendens (Abb. 27 a), so ergibt sich bei Verbindung der entpsrechenden KERCKRINGschen Falten in den einzelnen Bewegungsskizzen ein dem Uhrzeigersinn entgegengesetzter bogenförmiger Verluaf und umgekehrt bei Lage des Fixpunktes auf der Seite der Pars ascendens im Uhrzeigersinn (Abb. 27 b).

Die in Abb. 27 wiedergegebene Bewegung ist zur Verdeutlichung etwas überzeichnet: sehr häufig waren die Amplituden geringer; in der Bewegungsskizze erschien dann der bogenförmige Verlauf eher als eine reine Parallelverschiebung der Darmkontur je nach Lage des Fixpunktes in anale oder orale Richtung.

Auch in dieser Skizze läßt sich ein zweiter sog. Drehpunkt feststellen, um den die aktive Kontraktion und die passive Ausdehnung abläuft.

Abb. 27



K = Kontraktion

E = Erschlaffung

Abb. 28

Die Messung der Höhe und des Abstandes zwischen zwei benachbarten Schleimhautfalten ergab den in Abb. 28 graphisch dargestellten Befund, der auch schon in Abb. 27 zu erkennen ist.
Während der Kontraktion werden die KERCKRINGschen Falten höher (bis zu 1.2 cm innerhalb von 2 sec) und ihr Abstand zueinander verringert sich. Bei passiver Ausdehnung werden die Falten wieder flacher und ihr Abstand größer.

Pars ascendens und Flex. duodeno-jejunalis

Segmentationsbewegungen traten nicht sehr häufig auf. Die dominierende Bewegungsform war die peristaltische Welle, wobei ein geringer Kontrastmittelreflux bis ins untere Knie recht oft zu sehen war. Ein Anhalten der Passage durch die Pars ascendens wurde nicht beobachtet. Bei der Bewegung war die laterale bzw. untere Darmwand bevorzugt beteiligt. Wie beim Bulbus und unteren Duodenalknie scheinen die Darmabschnitte, die einem größeren Druck ausgesetzt sind und damit eine stärkere Vordehnung besitzen, sich maximaler zu kontrahieren.

Abb. 29

Die entsprechend ihrer vom Magen verdeckte Lage der Flex. duodenojejunalis machte nur in wenigen Fällen eine gute Darstellung möglich. In den 22 gelungenen Kinoszenen konnten nur segmentäre Kontraktionsformen registriert werden. Wie Abb. 29 verdeutlicht beteiligt sich ähnlich wie beim oberen Duodenalknie fast ausschließlich die obere Wandkontur an der Bewegung. Die Folge ist eine bipolare Kontrastmittelaustreibung mit recht großem Reflux, der aber selten bis in die untere Flexur reichte. Vielmehr blieb der fast kreisrunde Kontrastmittelschatten für einen Augenblick regungslos vor der Flexur liegen, um dann durch eine oralwärts gelegene ringförmige Darmkontraktion die Flexur zu passieren.

Fasst man alle registrierten Kontrastmittelpassagen durch das Duodenum zusammen, so ergibt sich ein in Abb. 30 wiedergegebenes Bild.

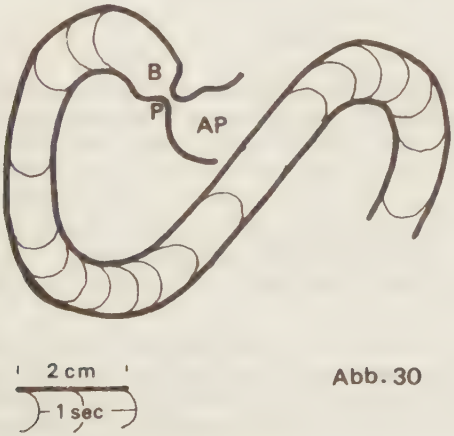
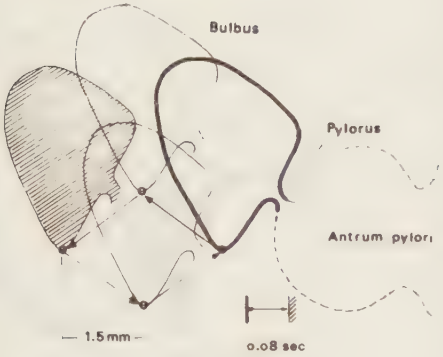


Abb. 30

Durchschnittlich hat nach 8 sec ein Kontrastmittelbolus das Duodenum passiert. Dabei sind die Geschwindigkeiten in den einzelnen Abschnitten unterschiedlich groß. Vergleichsweise verhält sich die Kontrastmittelfront wie die Front einer gekrümmte Röhren durchströmenden Flüssigkeit.

Pulsationen



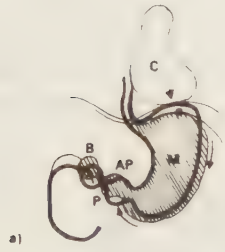


Abb. 31

Pulsation

Da bei den Kinoszenen darauf geachtet wurde, daß die Pat. wenigstens für 15 - 20 sec ihren Atem anhielten, konnten auch mitgeteilte pulsatorische Bewegungen beobachtet und gemessen werden.
Besonders der Bulbus und das Ende des unteren Duodenalknies zeigten pulsatorische Bewegungen.

Verfolgt man z. B. den tiefsten Punkt des Recessus inferior bulbi (Abb. 31), so zeigte die graphische Auswertung eine rautenförmige Bewegung während einer pulsatorischen Aktion. In Wirklichkeit wird der Bulbus eine ellipsenförmige Bahn beschreiben, die aber wegen der für diese schnelle Bewegung zu niedrigen Kamerafrequenz (vgl. Kapitel Kinofilmauswertung) auf eine rautenförmige reduziert erscheint.

Abb. 31 a gibt den Versuch wieder, die beschriebene Bulbuspulsation durch eine über den Magen mitgeteilte Herzpulsation zu erklären.

Der zweite Ort, an dem Pulsationen beobachtet werden konnten, war das Ende des unteren Duodenalknies. Hier befindet sich - wie schon im Kapitel Topographie des Duodenum beschrieben - die Gefäßgabel der Aorta abdominalis und A. mesenterica sup., in die das Duodenum von unten her eingeschoben ist.

Sehr auffällig waren hier Pulsationen bei 3 Fällen von Pankreatitis, einem Fall von präpylorischem Magenkarzinom, einem Fall von M. WERLHOF und bei 10 nach allen klinischen Kriterien gesunden, jedoch sehr dünnen Pat.

Die gute Sichtbarkeit ergab sich dadurch, daß bei allen diesen Fällen die Gefäßgabel das Duodenum mehr oder weniger einengte und so zu einem Passagehindernis wurde. Dadurch häuften sich vor dem Hindernis grössere Mengen Kontrastmittel an und bildeten hier eine gut verfolgbare Kontrastfront.

Daß es sich hier um mitgeteilte Pulsationen der A. mesenterica sup. und/ oder der Aorta abdominalis handelt, scheint mir durch die allein seitliche Auslenkung der Kontrastfront bewiesen (Abb. 31 b auf der nächsten Seite).

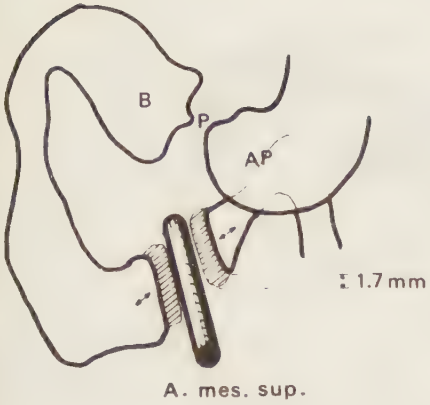


Abb.31 b) Pulsation

Bei einer nochmaligen Durchmusterung des gesamten Filmmaterials mit besonderem Augenmerk auf Pulsationen am unteren Duodenalknie fanden sich 22 weitere Fälle, bei denen - wenn auch nicht so auffällig -Gefäßpulsationen verbunden mit einem kurzen Verhalt der Kontrastmittelpassage zu beobachten waren. Da aber nur ein Schleimhautbelag mit Kontrastmittel zu sehen war, konnten keine quantitativen Messungen durchgeführt werden. Bei Laufbildbetrachtung mit hohen Wiedergabefrequenzen ließen sich eindeutig die Pulsationen am unteren Duodenalknie erkennen.

Pathologische Bewegungen

Ulcus duodeni

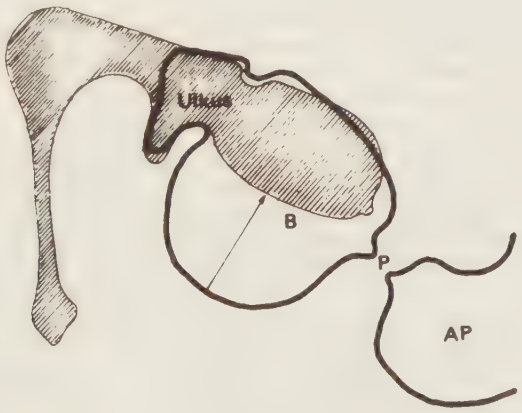


Abb. 32

Besonders bei Ulzera an der Bulbusspitze waren die Bulbuskontraktionen sehr kräftig (Abb. 32). Der ulzeröse Abschnitt stellte für die Passage ein Hindernis dar, da hier wahrscheinlich durch entzündliche Schwellung eine Wandstarre und Lumeneinengung zu beobachten war. Entsprechend mußten sich die restlichen Teile des Bulbus besonders die Majorseite verstärkt kontrahieren, um diese Stenosierung zu überwinden.

Bei abgeheilten Ulzera beteiligten sich die narbig veränderten Teile des Bulbus nicht mehr an der Kontraktion (Abb. 33). Auch hier mußten sich vikariierend die übrigen Bulbusteile kräftiger zusammenziehen. Narbige Einengungen (Schmetterlingsbulbi) waren bei den untersuchten Fällen nicht vorhanden.

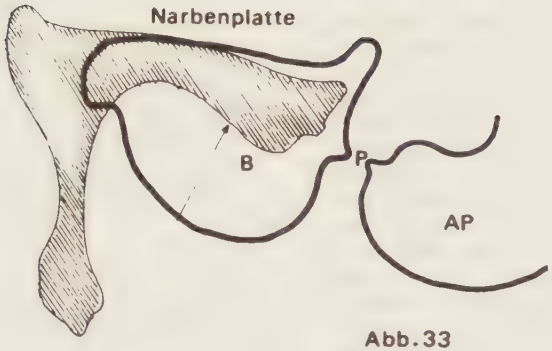
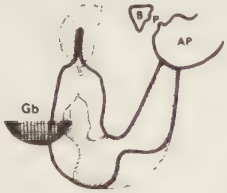
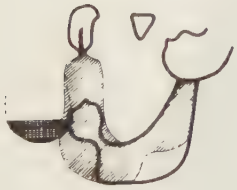


Abb. 33

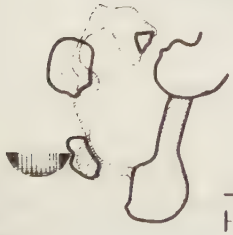
Periduodenale Verwachsungen



1



2



3

Abb. 34

Bei 2 untersuchten Fällen mit später chirurgisch nachgewiesenen Verwachsungen oberer Anteile des Pars descendens fielen gehäufte segmentäre Kontraktionen mit z. T. spastischen Einziehungen der Darmwand auf. Das Kontrastmittel pendelte bis zu 5 min in der Pars descendens auf und nieder, um dann durch eine peristaltische Welle beginnend am unteren Knie weiterbefördert zu werden.

Bei dem in Abb. 34 wiedergegebenen Fall kam es mehrere Male zum Reflux in den Bulbus. Die mitdargestellte Gallenblase enthielt noch Kontrastmittelreste von einer 24 h vorher durchgeführten Gallenblasendarstellung.

Zwar kürzer aber in der Koantraktionsweise vergleichbar waren die ruckartigen Bewegungen mit größerem Reflux in den Bulbus von 3 Pat. mit floridem Ulcus duodeni, 3 Pat. im Zustand nach Ulcus duodeni, 3 Pat. mit Pankreatitis und einem Pat. mit spontaner Choledocho-duodenalfistel.

Stenosenperistaltik

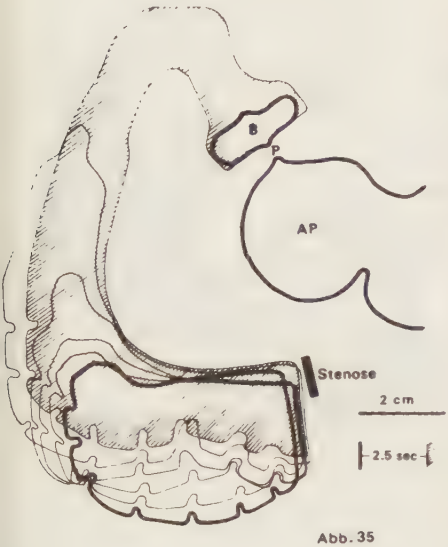


Abb. 35

Bei einem schon erwähnten Fall von M. HODGKIN bestand eine hochgradige Stenosierung des letzten Duodenalabschnitts durch intraabdominelle Lymphknotenvergrößerungen. Bei der Kontrastmitteldarstellung des Duodenum dominierten pausenlos ablaufende Pendelbewegungen am stark aufgeweiteten unteren Duodenalknie mit zahllosen Refluxen bis in den Bulbus (Abb. 35). Der Pat. klagte während der Untersuchung über starken Brechreiz. Während der eigentlichen Beobachtungszeit im Rahmen der Magenbreipassage konnte kein Weitertransport des Inhalts gesehen werden. Bei der anschließend aufgenommenen Kinoszene wurdeder einzige Kontrastmitteldurchtritt durch die Stenose erfaßt. Abb. 36 zeigt den Augenblick der Kontrastmittelpassage durch die hochgradig eingeengte und nach unten verlagerte Flex. duodeno-jejunalis.

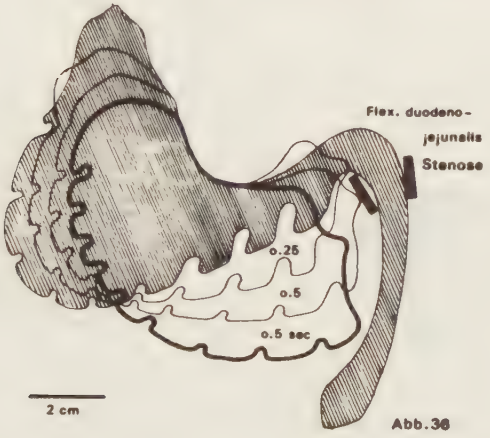


Abb. 36

Beim M. WERLHOF - die Patientin war sehr kachektisch - fiel der häufige Reflux von Kontrastmittel in den Bulbus auf (Abb. 37 auf der nächsten Seite). Obwohl die Passage nicht vollständig verlegt war, lag auch hier eine hochgradige Lumeneinengung mit kräftigen Pulsationen in Höhe der A. mesenterica sup. vor, die bei Durchleuchtung der Pat. in Bauchlage nicht mehr zu sehen war.

Ähnliche Bewegungen ließen sich auch bei 8 von 14 untersuchten Fällen mit Pankreatitis, 2 Fällen mit frischem Bulbusulkus, je einem Fall von präpylorischem Magenkarzinom und spontaner Choledocho-duodenalfistel

sowie bei 12 sehr mageren aber sonst klinisch unauffälligen Pat. feststellen.

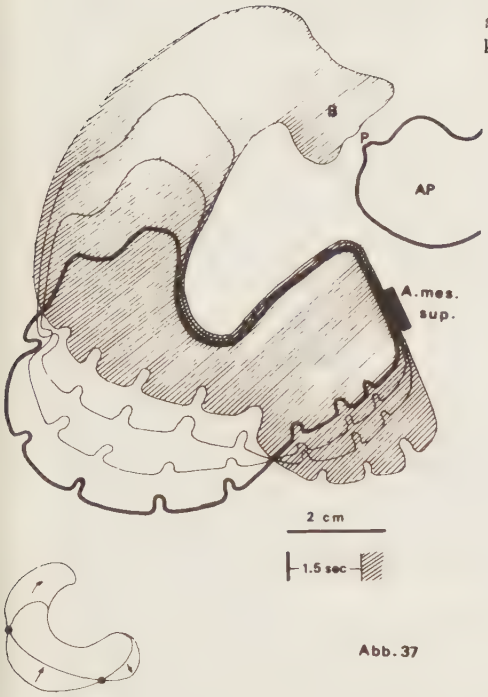


Abb. 37

Lageanomalie

Abb. 38

Zwei Pat. mit der Einweisungsdiagnose "Ulcus duodeni" zeigten bei der Kontrastmitteluntersuchung die in Abb. 38 wiedergegebene Lageanomalie des oberen Duodenalknies, wobei ein Fall zunächst als Divertikel an der Bulbusspitze diagnostiziert wurde.

Diese von ALBRECHT noch als harmlose Lagevariante verstandene Veränderung hatte in diesen beiden Fällen eindeutig pathologischen Charakter, da am Ende der herabhängenden Aussackung eine starke Lumeneinengung

zu beobachten war. Das Kontrastmittel pendelte bis zu 10mal zwischen Bulbus und der Aussackung hin und her, bevor es zu einem geringen Kontrastmittelauswurf in die Pars descendens kam.

13. Diskussion der Ergebnisse

Da sich die hier gemessenen Geschwindigkeiten als gerichtete Größen (Vektoren) in einem dreidimensionalen Raum bewegen, das Kinobild aber den Raum nur zweidimensional wiedergibt, muß einschränkend gesagt werden, daß nur dann reale Geschwindigkeiten gemessen werden, wenn die Bewegung genau senkrecht zum Strahlengang abläuft. Liegen die Vektoren mehr oder weniger parallel zur optischen Achse, dann sind die ermittelten Werte immer kleiner als die realen Geschwindigkeitsgrößen.

Durch die 2-Ebenen-Kinematographie ist es möglich, auch diese Geschwindigkeiten zu messen.

Bei der Durchsicht der Literatur fand sich nur bei FRIEDMAN eine genaue Geschwindigkeitsangabe. Er berichtet über eine peristaltische Geschwindigkeit am Duodenum von 10 mm/sec. Im Vergleich zu den hier ermittelten Daten (ca. 20 mm/sec) ist dieser Wert zu niedrig. MIZRAY gibt für die normale Kontrastmittelpassage durch das Duodenum einen Zeitraum von 8 - 30 sec an. Dies entspricht sehr genau den von mir gemessenen 8 sec, da sie nur die Zeiten echter propulsiver Bewegungen darstellen und physiologische Bewegungspausen nicht berücksichtigt wurden.

Insgesamt wurden am Duodenum Bewegungsgeschwindigkeiten von 5 - 35 mm/sec. gemessen.

Am Bulbus ließ sich eine Häufung der Werte um 7 mm/sec feststellen, wobei die Werte mit ca. 11 mm/sec höher lagen, wenn die Austreibungsarbeit besonders von der Bulbusmajorseite ausgeführt wurde. Einen ähnlichen Wert um 11 mm/sec ergab bei floridem Duodenalulkus und sichtbarem Zustand nach Ulkus duodeni die Ausmessung der Bewegungsgeschwindigkeiten von noch intakten Bulbuswänden.

Die erst nach dem Bulbus auftretenden typischen segmentären und peristaltischen Aktivitäten bewegten sich zwischen 10 und 25 mm/sec. Dabei zeigte sich, daß die Segmentation mit Werten von ca. 15 mm/sec um etwa 5 mm/sec langsamer war als die peristaltische Kontraktion, die mit Geschwindigkeiten von 20 mm/sec ablief.

Die Ausmessung der bei einigen Fällen im Laufbild auffallend schnellen, als spastische Kontraktionen zu bezeichnenden Bewegungen ergab zwar nicht die zunächst erwarteten hohen Werte. Sie sind aber mit durchschnittlich 25 mm/sec eindeutig (um 25 %) höher als die peristaltischen Bewegungen und um etwa 65 % höher als die vergleichsweise ähnliche Kontraktionsform der Segmentation.

Im übrigen läßt sich mit der Röntgenkinematographie allein nicht feststellen, gegen welchen Widerstand a) der Darmwand, die z. B. durch eine entzündliche Infiltration sich verdickt und unbeweglicher wird, und b) des Inhalts, der besonders vor Stenosen vermehrt ist, die Muskulatur sich kontrahieren muß und die o. g. Geschwindigkeiten erreicht.

Die pulsatorischen Bewegungen des Bulbus und des unteren Duodenalknies ließen eine signifikante Häufung der Werte um 25 mm/sec erkennen. Ähnliche Werte fanden auch STENZEL und BARTL bei kinematographischen Messungen der Magen- und Nierenpulsation, wobei nach BARTL die pulsatorischen Bewegungen der Nieren eindeutig nicht mitgeteilte Herzpulsationen darstellen, sondern durch den pulsierenden Bluteinstrom in die zumeist S-förmig verlaufende A. renalis verursacht werden.

Wie schon Abb. 31 a zu verdeutlichen suchte, erhält der von der Herzbasis nur durch das Zwerchfell getrennte Magenfornix während der Herzaktion eine pulsatorische Mitbewegung in kaudale Richtung. Durch die stärkere Fixierung der kleinen Kurvatur des Magens bekommt die pulsatorische Magenbewegung mit zunehmender Pylorusnähe einen nach rechts oben offenen bogenförmigen Verlauf. Pylorus und Bulbus führen schließlich eine der Fornixbewegung fast entgegengesetzte Schwingung aus: bei Tiefertreten des Fornix wird der Bulbus nach oben außen geschoben.

Wegen der topographischen Nachbarschaft des Bulbus zur Bauchaorta kann auch diese pulsatorische Bulbusbewegungen hervorrufen. Da aber der Bulbus eine rautenförmige bzw. ellipsenförmige Bewegung ausführt und kein rein seitliches Hin- und Herschwingen - was für eine mitgeteilte Aortenpulsation sprechen würde - ist es wahrscheinlicher, daß die über den beschriebenen Mechanismus mitgeteilte Herzaktion für die pulsatorische Bulbusbewegung verantwortlich ist. Vielleicht beteiligt sich die Aortenpulsation an der maximalen seitlichen Auslenkung des Bulbus.

Vergleicht man die bei der qualitativen Auswertung gefundenen Duodenalbewegungen mit den in Kapitel Besonderheiten der Duodenalmotorik zitierten Befunden verschiedener Autoren, so läßt sich eine Übereinstimmung dahingehend feststellen, daß

1. der Bulbus sich in seiner Kontraktionsweise vom übrigen Duodenum unterscheidet.
2. zumindest zwei bulbusformspezifische und so m. E. individuumspezifische Kontraktionsvarianten gefunden wurden (vgl. KAESTLE).
3. Segmentäre und peristaltische Kontraktionen sich trennen lassen, wobei letztere erst ab Mitte der Pars descendens einsetzten.
4. in keinem der untersuchten Fälle (ca. 140) Antiperistaltik beobachtet werden konnte.
5. ein Reflux von Kontrastmittel über kurze Strecken recht häufig auftrat.
6. ein Reflux von Kontrastmittel vom unteren Knie in den Bulbus bei normalen Fällen äußerst selten beobachtet wurde, bei pathologischen Fällen aber ein typisches Zeichen für eine distale Abflußbehinderung darstellt.

Im einzelnen können die von ACKERLUND, CHAOUL, JORGENS, KAESTLE, LOB und SORKIN gemachten Beobachtungen bestätigt werden, daß sich der Bulbus entweder durch eine allseitige Systole oder eine ringförmige Kontraktion in Bulbusmitte entleert. Beim letzteren war - wie auch Abb. 21 a zeigt - auch eine systolische Komponente in der Austreibungsaktion vorhanden, da sich nicht nur die Bulbusmitte sondern - zwar weniger stark - auch die übrigen Bulbusabschnitte.

Die von CHAOUL und SORKIN beschriebene zweiphasenhafte Bulbusentleerung konnte nicht beobachtet werden. Zwar wurde - wie bei allen Bewegungen so auch hier - ein Anstieg (Beschleunigung) und ein Abfall (Verlangsamung) der Geschwindigkeiten registriert, doch ließ sich daraus kein zweizeitiger Bewegungsablauf konstruieren.

Bei frischen und abgeheilten Bulbusulzera waren die befallenen Bulbusteile nicht in der Lage sich zu kontrahieren. Diesen Ausfall glichen die restlichen Bulbusabschnitte durch eine verstärkte Kontraktionsamplitude vikariierend aus, was auf eine Anpassungsfähigkeit der Muskulatur an veränderte Bedingungen deutet.

Auffallend war bei querliegenden Bulbi die größere Beteiligung der Majorseite an der Austreibungskontraktion. Eine Erklärung wäre die Fähigkeit der Bulbuswände, auf unterschiedliche Wanddistension - majorseitig addiert sich zum Inhaltsdruck noch die Gravitationskraft - mit einer Variation der Kontraktionsamplitude zu antworten. Eine zweite Möglichkeit wäre eine Hypertrophie der Muskelschicht in der Bulbusmajorseite, da die unterschiedliche Bulbusausrichtung keine temporäre sondern zumeist eine typenspezifische ist (BERG).

Allerdings wurde bei einigen Fällen beobachtet, daß sich die Bulbusausrichtung von einer mehr horizontalen bei noch geringer Kontrastmittelfüllung des Magens in eine nahezu vertikale bei Vollfüllung drehte, da durch das Tiefertreten des unteren Magenpols die Bulbusbasis nach kaudal gezogen wurde, während die besser fixierte Bulbusspitze keine große Lageveränderung erfuhr.

Die von BERNSTEIN erwähnte Rhythmik im Bewegungsablauf des Bulbus konnte nicht gesehen werden.

Die von den meisten Autoren betonte Unabhängigkeit der Bulbusbewegung von der Magenmotorik war auch bei meinen Beobachtungen offensichtlich. Doch besteht zumindest durch die kontraktionsauslösende Bulbusfüllung vom Magen her ein rein mechanischer Zusammenhang zwischen Pylorusöffnung und Bulbuskontraktion.

Die registrierten Bewegungen am oberen Duodenalknie und der Pars descendens decken sich fast völlig mit den Beobachtungen der meisten Autoren, da auch bei meinen Aufzeichnung der häufige Auftreten von segmentären Kontraktionen am Übergang Bulbus/oberes Knie und an der Papilla VATERI auffiel.

Typische peristaltische Wellen wurden sehr selten beobachtet, die dann nur unterhalb der Papilla VATERI einsetzten. Dies bestätigen die Arbeiten von LOB und MECRAY, die in der Pars descendens noch keine eigentliche Peristaltik registriert haben. Mit Einschränkung mach auch SAUVEGRAIN ähnliche Beobachtungen, da seine 2. Gruppe von Propulsionskontraktionen erst in der Mitte der Pars descendens beginnen. Er spricht ausdrücklich nicht von peristaltische sondern von gerichteten propulsiven Kontraktionen. Nach meinen Beobachtungen haben in der Pars descendens, bedingt durch den senkrecht nach unten ziehenden Verlauf, Segmentationsbewegungen bevorzugt propulsive Wirkung. Das kann eine Erklärung für seine 1. Gruppe von Propulsionskontraktionen sein, die am Bulbus beginnen und entweder an der Papilla VATERI oder am unteren Knie auslaufen.

Der von SAUVEGRAIN beschriebene tonische Kontraktionszustand des gesamten Duodenum nach Ablauf einer propulsiven Kontraktionswelle

(Abb. 13) konnte von mir nicht gesehen werden. Vielmehr sammelte sich der normalerweise vorhandene Kontrastmittelreflux zu einem rundlichen Kontrastschatten an. Ein längliches Auswalzen des Kontrastmittels, das ein Hinweis auf eine tonische Gesamtkontraktion des Duodenum wäre, war nicht vorhanden.

Unkoordinierte, z. T. spastische Kontraktionen des Pars descendens - wie sie JORGENS bei entzündlichen Veränderungen in Höhe der Papilla VATERI beschreibt (Pacemaker Region) - fanden sich besonders bei 2 Pat. mit chirurgisch nachgewiesenen periduodenalen Adhäsionen. Zumindest nach radiologischen Kriterien (flache verdickte KERCKRING-sche Falten und z. T. ihr völliges Fehlen) bestand bei beiden Fällen auch eine Entzündung der Duodenalschleimhaut.

Das schon von BAUERMEISTER als "Sinus duodeni" hervorgehobene untere Duodenalknie war auch bei meinen Aufzeichnungen neben dem Bulbus der Duodenalabschnitt, an dem die meisten Bewegungen registriert wurden. FRIEDMAN, JORGENS, LOB und SAUVEGRAIN betonen, daß an dieser Stelle ein häufiger Kontrastmittelverhalt zu sehen ist und von hier die meisten inhaltsfördernden Bewegungen ausgingen. Auch bei dem hier untersuchten Patientengut nahmen die meisten peristaltischen Wellen vom unteren Duodenalknie ihren Ausgang, indem durch ein kräftiges Anheben der unteren Darmkontur der Inhalt in die Pars ascendens geschleudert wurde.

Bei der graphischen Drastellung dieser manchmal an eine systolische Kontraktion erinnernde Bewegung ließen sich Punkte bzw. bis maximal 0.5 cm lange Strecken in der Außenwand finden, die während des Kontraktionsablaufs - zumindest in der flächenhaften Projektion des Kinobildes - keine Ortsänderung erfuhren. Die von mir als Fix- oder Drehpunkte bezeichneten Orte waren sowohl bei propulsiven Bewegungen des unteren Duodenalknies als auch bei den Bewegungen, die in den Pausen der propulsiven Motorik auftraten, nachweisbar. Letztere hatten nur geringe inhaltsfördernde Wirkung und ließen den Inhalt über kurze Strekken hin- und herpendeln. Der formale Bewegungsablauf war bei beiden Bewegungen gleich. Es waren nur graduelle Unterschiede in der Amplitude zu beobachten, sodaß hier eine Unterscheidung in Segmentation und Peristaltik schwierig war.

Bei mehreren Fällen waren zwei Fixpunkte vorhanden, um die zeitlich aufeinander folgend die untere Darmwand die Bewegung ausführte (Abb. 26).

Durch die Inhaltsverschiebung wurden die neu gefüllten Duodenalabschnitte ausgedehnt. Es ergab sich bei der graphischen Auswertung dieser Bewegung ein zweiter fixer Punkt, sog. Drehpunkt, um den eine Kippbewegung mit Kontraktion auf der einen und Erschlaffung auf der anderen Seite ablief. Beide Punkte, Fix- und Drehpunkt, ließen sich sowohl bei der Auswertung normaler als auch pathologischer Bewegungen beobachten.

Diese Befunde sprechen dafür, daß nur umschriebene Wandabschnitte sich kontrahieren und der Anfang oder das Ende eines solchen Abschnitts keine Bewegung ausführt, sondern als Stemmpunkt benutzt wird, um den die Bewegung abläuft.

Auch bei Analyse der passiven Darmerweiterung, wenn durch segmentäre Kontraktionen der Pars descendens Kontrastbrei in das untere Knie gelangt, ließen sich Fixpunkte in der Darmwand feststellen:

die untere Kontur wurde nämlich nicht im Ganzen gleichmäßig ausgedehnt, vielmehr bewegten sich bis zu 4 cm lange Abschnitte um einen klar zu erkennenden Fixpunkt nach außen. Das weist auf eine aktive Beteiligung der Muskulatur an der Ausdehnung des Darmes hin.

Die Verfolgung der KERCKRINGschen Falten während einer Kontraktion ergab, daß diese sich nicht senkrecht zur Wandkontur sondern bogenförmig bewegten. Je nach Lage des Fixpunktes ergab sich eine Bewegung im oder entgegen dem Uhrzeigersinn (Abb. 27 a+b). Bei starker Kontrastmittelauffüllung des unteren Knies, die besonders bei Pankreatitiden, distalen Passagehindernissen, aber auch einigen normalen Fällen zu beobachten war, reichte anscheinend die Kraft der Darmmuskulatur in den Pausen der propulsiven Kontraktionen nicht aus, eine wesentliche Hebung der unteren Wandkontur zu bewirken. Man sah - wieder von einem Fixpunkt ausgehend - lediglich Verschiebungen der KERCKRINGschen Falten innerhalb der Wandkontur.

Bei der Messung der Höhe und des Abstandes der Falten voneinander zeigte sich, daß sie bei Kontraktion größer werden und enger zusammenrücken und bei Erschlaffung umgekehrtes geschieht (Abb. 28).

Vergleicht man diese Beobachtungen mit dem GOERTTLERschen Darmmodell, so müßten die Schleimhautfalten bei einer Hebung der unteren Kontur nicht größer sondern flacher werden, da eine Verengerung des Darmlumen ja nur durch die Ringmuskulatur möglich ist. Verengerung hat aber zwangsläufig eine Darmverlängerung mit Verstreichen der Schleimhautfalten zur Folge. Da das Gegenteil der Fall war, muß zumindest am unteren Duodenalknie bedingt durch den retroperitoneal fixierten bogenförmigen Verlauf ein besonderer Kontraktionmodus vorhanden sein.

An einem gekrümmt verlaufenden Darmstück ist eine Annäherung der Außen- an die Innenkontur auch durch eine alleinige Kontraktion der Längsmuskulatur denkbar, die in der äußeren Kontur verläuft. Für die besondere Beteiligung der Längsmuskulatur spricht auch die Bewegungsarmut der inneren Kontur, das Größerwerden und Zusammenrücken der KERCKRINGschen Falten und die Existenz eines Fixpunktes.

Die größere Bewegungsamplitude der äußeren Darmwand fand sich ja auch beim oberen Duodenalknie und an der Flex. duodeno-jejunalis.

Bei den pathologischen Bewegungen waren ebenfalls Fix- und Drehpunkte der Bewegung festzustellen. Doch die zeitlichen Abstände zwischen den häufig frustranen propulsiven Kontraktionen waren mit ca. 30 sec größer als bei normalen Fällen. Das untere Knie war stark aufgeweitet, bei auffallend enger Pars descendens oberhalb der Papilla VATERI. Diese von HOLZKNECHT als "Erlahmungsdilatation" bezeichnete Aufweitung besaß häufig eine kreisrunde untere Kontur mit sägezahnartig prominenten KERCKRINGschen Falten (Abb. 39 auf der nächsten Seite).

Zwischen der noch eindeutig als propulsive oder peristaltische Kontraktion zu bezeichnenden Bewegung ließ sich eine erhöhte Aktivität von ausgesprochen pendelndem Charakter beobachten. Z. T. war die gemessene

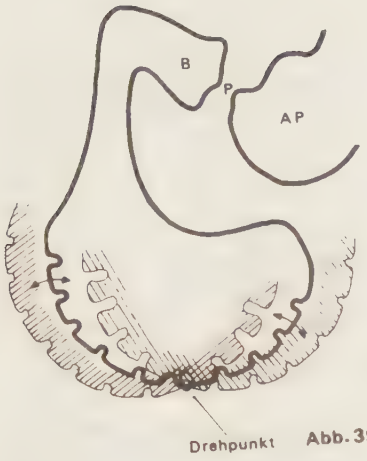


Abb. 39

Geschwindigkeit (Tab 14) gleich der nicht propulsiven Bewegung, ein grosser Teil aber hatte - zwar mit kürzerer Kontraktionsdauer - Geschwindigkeiten, die eindeutig auch über denen der peristaltischen Kontraktion lagen. Besonders die Bewegungen mit diesen Geschwindigkeiten machten den pendelnden Charakter aus, da sie den Kontrastbrei kurze Strecken in die Pars ascendens oder descendens warfen, der dann wieder zurücksank.

Gewöhnlich wird diese Bewegungsform als Stenosenperistaltik bezeichnet, auch der Begriff Rollbewegung wird häufig verwendet. Bei den hier beobachteten 26 Fällen mit Stenosenperistaltik konnte nur bei 16 Fällen ein Passagehindernis gefunden werden. Bei einem Fall (M. HODGKIN) waren es vergrößerte abdominelle Lymphknotenpakete (Abb. 36) und 15mal mit hoher Sicherheit die A. mesenterica sup. (sichtbare Pulsationen am unteren Knie, vgl. Abb. 31 b und 37). Bei dieser sog. arteriomesenterialen Duodenalkompression war keine allgemeine Lageanomalie des Duodenum zu erkennen, vielmehr schien bei diesen sehr mageren, z. T. tumorkachektischen Pat. im Stehen der Zug des Dünndarmkonvoluts an der Mesenterailwurzel die Stenosierung des Duodenum hervorzurufen.

Wie schon erwähnt , fanden sich - zwar ohne pathologische Veränderungen der Duodenalbewegung - bei weiteren 22 Pat. Pulsationen am unteren Knie verbunden mit einem flüchtigen Kontrastmittelverhalt an dieser Stelle. Es läßt sich daraus folgern, daß im Stehen die dem Ende des unteren Duodenalknie aufliegende Mesenterialwurzel schon unter physiologischen Bedingungen ein wenn auch geringes Passagehindernis darstellt. MIZRAY betont, daß die Mesenterialwurzel häufig eine passagere Duodenalstase hervorruft. Nach BOCKUS, LOWELLS und GOIN sind 50 % aller Duodenalstasen auf eine Okklusion durch die Mesenterialwurzel zurückzuführen.

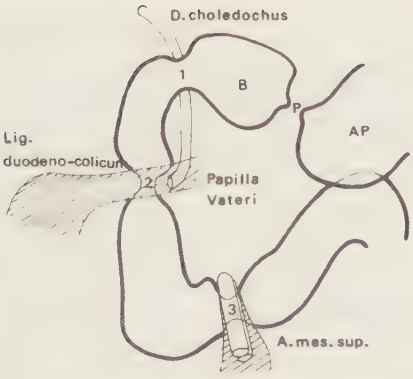


Abb. 40

Die hauptsächlich in der französischen und italienischen Literatur hervorgehobenen sphinkterhaften Regionen am Duodenum konnten z. T bei meinen Untersuchungen bestätigt werden.

Schon allein die Abtragung - wie in Abb. 18 zu sehen - aller bei 140 Untersuchungen registrierten Duodenalbewegungen zeigt abgesehen vom Bulbus eine Betonung von 5 Duodenalbezirken: Außenwand oberes Knie, Bezirk um die Papilla VATERI, untere Kontur des unteren Knies, Anfangsteil der Pars ascendens und die obere Kontur der Flex. duodenojejunalis.

Vergleicht man damit die erwähnten Duodenalsphinkteren, so ergibt sich eine Übereinstimmung mit dem apico-bulbären Sphinkter, dem Sphinkter BUSI oder KAPANDJI und dem OCHSNERschen Sphinkter. Besonders der letztere führte kräftige Kontraktionen aus. Eine zeitliche Zuordnung der Bewegungen dieser Gebiete war zu erkennen; jedoch schien dies nicht so sehr auf eine nervale Abstimmung der Duodenalregionen zueinander zu beruhen, sondern allein auf die kontraktionsauslösende Aufdehnung des Duodenum durch das analwärts geförderte Kontrastmittel.

Bei pathologischen Bewegungen in diesem Gebiet - Spastik der Pars descendens und Stenosenperistaltik am unteren Knie - fielen neben den als Ursachen verständlichen periduodenalen Verwachsungen und der spontanen Choledocho-duodenalfistel besonders das floride Ulkus duodeni und die Pankreatitis auf, wobei 3 Fälle von Pankreatitis mit pathologischer Stenosenperistaltik eindeutig eine Duodenalkompression durch die A. mesenterica sup. aufwiesen. Die übrigen 5 Pat. mit gleicher Erkrankung zeigten eine Stenosenperistaltik ohne ein röntgenkinematographisch erfasste Passagebehinderung.

Ein in Abb. 40 vorgenommener Vergleich der ersten 3 Sphinkteren (1 apico-bulbärer Sphinkter, 2 Sphinkter BUSI, 3 OCHSNERscher Sphinkter) mit den besonderen topographischen Verhältnissen zeigt übrigens eine auffallende Übereinstimmung.

Ein Zusammenhang zwischen Topographie und Duodenalbewegung ließ sich aber allein mit der Röntgenkinematographie nur am unteren Duodenalknie finden. Die Mesenterialwurzel stellt offenbar auch unter physiologischen Bedingungen ein Hindernis für die Kontrastmittelpassage dar, wodurch sich das untere Knie häufig stärker mit Kontrastmittel auffüllt und zu einer entsprechend kräftigeren Kontraktion veranlaßt wird.

14. Zusammenfassung

Es wird nach eingehender Erläuterung der Topographischen Anatomie, der Physiologie des Duodenum (unter besonderer Berücksichtigung der Darmmotorik) und den röntgenkinematographischen Aufzeichnungs- und Auswertetechniken über Geschwindigkeitsmessungen und Bewegungsanalysen am Duodenum bei 141 Fällen berichtet.

Die Segmentationsbewegungen hatten im Mittel eine Geschwindigkeit von 15 mm/sec, die der peristaltischen Bewegung von 20 mm/sec. Pulsatorische Mitbewegungen des Bulbus und am unteren Duodenalknie hatten Werte von 25 mm/sec, wobei der Bulbus sich auf Grund einer vom Magen übertragenen Herzpulsation bewegte und das Ende des unteren Knies auf Grund des hier aufliegenden Gefäßstranges und/oder der dahinter liegenden Bauchaorta.

Am Bulbus duodeni ließen sich 2 bulbusformspezifische (Zwiebelform - Systole / Zylinderform - Ringkontraktion in Bulbusmitte) Kontraktionsvarianten mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 7 mm/sec feststellen. Bei mehr querliegenden Bulbi zeigte die stärker beanspruchte Bulbusmajorseite eine größere Amplitude und Geschwindigkeit (11 mm/sec).

Bei floriden oder abgeheilten Ulzera des Bulbus fehlte die Bewegung in den betroffenen Wandbezirken. Vikariierend kontrahierten sich die übrigen Abschnitte umso stärker.

Spastische Kontraktionen an der Pars descendens mit einer Geschwindigkeit von etwas mehr als 20 mm/sec waren bei 3 von 4 Pat. mit einem floriden Ulcus duodeni, 3 von 13 Pat. mit einer Pankreatitis, den 2 Pat. mit chirurgisch nachgewiesenen periduodenalen Adhäsionen und bei einem Fall einer spontanen Choledocho-duodenalfistel zu beobachten.

Bei 8 von 13 untersuchten Pat. mit Pankreatitis trat Stenosenperistaltik am unteren Duodenalknie auf, weiterhin bei 2 von 4 Fällen eines floriden Ulcus duodeni, 1 Fall eines präpylorischen Magenkarzinom, 1 Fall eines M. HODGKIN und M. WERLHOF, 1 Fall einer spontanen Choledocho-duodenalfistel sowie bei 12 sonst klinisch unauffälligen Pat.
Die Geschwindigkeit dieser Bewegung lag maximal bei 25 mm/sec. Zwischen dieser frustranen Propulsionsbewegung lagen Pausen bis zu 30 sec. Von den 26 untersuchten Fällen mit Stenosenperistaltik wiesen 15 eine pulsatorische Bewegung am unteren Duodenalknie auf. In diesen Fällen stellte die Mesenterialwurzel mit A. mesenterica sup. ein Passagehindernis dar. Bei einem der zwei HODGKIN-Pat. bestand das Hindernis in einer hochgradigen Stenosierung und Verlagerung der Flex. duodenojejunalis durch vergrößerte abdominelle Lymphknoten. Die restlichen 10 Pat. ließen röntgenologisch kein Passagehindernis erkennen.

Die graphische Bewegungsanalyse besonders des unteren Duodenalknies ergab, daß sich sowohl bei Propulsions- als auch bei Mischbewegungen zumeist nicht die ganze untere Darmkontur sondern nur umschriebene Wandabschnitte kontrahierten und der Anfang oder das Ende eines solchen Abschnitts keine Ortsänderung erfuhr, sondern als Stemmpunkt benutzt wurde, um den die Bewegung ablief.

Auch bei passiver Dehnung des unteren Knies durch eine Kontrastmittelfüllung war eine aktive Beteiligung der Darmwand zu beobachten, da sich die untere Kontur nicht wie die Wand eines von innen aufgeweiteten Hohlkörpers gleichmäßig ausdehnte, sondern sich um einen klar zu erkennenden

oral- oder analwärts gelegenen Drehpunkt nach außen bewegte.

Die Verfolgung der KERCKRINGschen Falten, die besonders gut am unteren Duodenalknie sichtbar waren, während der Kontraktion zeigte eine Höhenzunahme und eine Verringerung des Abstandes zwischen den einzelnen Falten. Dieses und die Tatsache, daß sich am oberen und unteren Duodenalknie sowie an der Flex. duodeno-jejunalis besonders die schwächer gekrümmten Außenwände die Lumenverengerung bewirkten, weisen darauf hin, daß bevorzugt die Längsmuskulatur an diesen drei Krümmungen des Duodenum die Bewegung ausführt.

Literaturverzeichnis

1 ADLER, D. C. and MEYERS, H. I
Cineradiographic examination of the upper gastrointestinal tract in obstructive jaundice.
J. Amer. Med. Ass. 199:709-713 (1967)

2 ADLERCREUTZ, R. and PETTERSON, T.
Effect of cholecystokinin on duodenal tonus and motility.
Acta med. Scand. 167:339-342 (1960)

3 ALBO, R. J., SILEN, W., RUBY, L., HEIN, M. F. and HARPER, H. A.
Studies on the mechanism of secretin on gastric secretion.
Gastroenterology 48:784-789 (1965)

4 ALBORT, G. et KAPANDJI, M.
Rôle des dyskinésies duodénales et du reflux duodéno-biliaire dans la génèse des affections chroniques de la vésicule biliaire et des voies biliaires extra et intra-hépatiques.
XIII. Congr. Soc. Ital. Gastroenterol. Bologna, Maggio 1959

5 ALBRECHT, H. U.
Die Röntgendiagnostik des Verdauungskanals
G. Thieme Verlag Leipzig 1931

6 ACKERLUND

Acta radiol. (Stockholm) Suppl. I (1921)

7 BARDEEN

Amer. J. Anat. 1, 6, 42

8 BARMANN, W.
Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen
G. Thieme Verlag Stuttgart 1964 5. Aufl.

9 BARTL, R.
Röntgenkinematographie der Nierenarterien:
Strömungsgeschwindigkeiten - Pulsationen
Diss. aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München 1970

10 BASS, P., CODE, C. F. and LAMBERT, E. H.
Motor and electric activity of the duodenum.
Amer. J. Physiol. 201:287-291 (1961)

Electrical activity of gastroduodenal junction.
Amer. J. Physiol. 201:587-592 (1961)

11 BAUERMEISTER, W.
Das Duodenum als Mischapparat.
Fortschr. Röntgenstr. 34:159-161

12 BAUMANN, H.
Über die kinematographische Bewegungsanalyse.
Med. Welt 40:2168-2174 (1968)

13 BAYLISS, W. M. and STARLING, E. H.
The movements and innervation of the small intestine.
J. Physiol. 24:99-143 (1899)

The movements and innervation of the large intestine.
J. Physiol. 26:125-138 (1901)

14 BERG, H. H.
Die direkten Röntgensymptome des Ulcus duodeni und ihre klinische Bedeutung.
Erg. med. Strahlenforschg. 2:249-350 (1926)

15 BERGMANN, v. G. und KATSCH, G.
Pathologische Physiologie spezieller Krankheitsbilder.
Handb. d. norm. u. patholog. Phys. Bd. 3, 2. Teil:1159-1188

16 BERNSTEIN
Über Passagestörungen im Duodenum.
Fortschr. Röntgenstr. 34:245-252 (1926)

17 BEST and TAYLOR
Movements of the alimentary canal
Physiological basis of medical treatment Kap. 42:707-711
The Williams & Wilkins Comp. 1961

18 BISCHOFF, K.
Der Wert der Strahlungspulsung bei den modernen Verfahren der Röntgenkinematographie.
Fortschr. Röntgenstr. 97:82-89 (1962)

19 BOCKUS, H. L.
Arteriomesenteric occlusion of the duodenum with dilatation and stasis.
Pennsylvania M. J. 32:618 (1929)

Chronic duodenal ileus.
Gastroenterology Bd. 2, S. 103 W. B. Saunders, Philadelphia 1964

20 BODEN, K. und SCHWEIG, H.
Impulstechnik bei Röntgenkino.
Fortschr. Röntgenstr. 98:631-635 (1963)

21 BORESCO, A., BECLERE, H. et PORCHER, P.
Les mouvements du duodénum.
Arch. Mal. Appar. dig. 17:630 (1927)

22 BORGSTROM, B.
Studies of intestinal digestion and absorption in human.
J. Clin. Invest. 36:1521-1536 (1957)

Studies of intestinal cholesterol absorption in the human.
J. Clin. Invest. 39:809-815 (1960)

23 BRAUS, H.
Anatomie des Menschen - Bd. 2.
Springer Verlag Berlin 1934

24 BÜRGI, S.
Das vegetative Nervensystem - 1. Allgemeine Organisation.
Praxis aurea-Taschenbuch 1. Bd. 1969

25 CAMPBELL, J.A., KLATTE, E.C. and SHALKOWSKI, R.T.
Factors influencing image quality in cineroentgenography.
Am. J. Roentgenol. 83:345-353 (1960)

CAMPBELL, J.A., KLATTE, E.C., TAMPAS, J.P. GRAY, D.D. and REESE, I.C.
Factors determing film exposure in cineradiography.
Radiology 78:705-713 (1963)

26 CANNON, W.B.
The mechanical factors of digestion.
Lomgmans, Green & Comp. New York 1911

Peristalsis, segmentation and the myenteric reflex.
Amer. J. Physiol. 30:114 (1912)

27 CAREY, E.J.

Internat. Gastroenterol. 1:1 (1921)

28 CARNOT, P. et CHASSEVANT, A.
Modifications subies, dans l'estomac et le duodénum par les solutions salines, suivant leur concentration moleculaire.
Le reflexe regulateur du sphincter pylorique.
C.R. Soc. Biol. Paris 58:173 (1905)

29 CASE, J.T.
Roentgen observations on the duodenum with special reference to lesions beyond the first portion.
Amer. J. Roentgenol. 6:314 (1916)

30 CATEL, W.
Normale und pathologische Physiologie der Bewegungsvorgänge im gesamten Verdauungskanal. Bd. I+II
G. Thieme Verlag Leipzig 1936/37

31 CHAOUL, H.
Die radiologische Untersuchung des Duodenums unter Verwendung einer neuen Lagerungsvorrichtung für Aufnahme und Durchleuchtung.
Münch. med. Wschr. Nr. 16 (1918)

Über ein Verfahren zur radiologischen Untersuchung des Duodenum.
Dtsch. Z. Chirurg. 138

32 CHOCOLAC, J.
Zur Funktion des Sphinkter ODDI und der Motilität des Dünndarms.
Fortschr. Röntgenstr. 92:312-325 (1960)

33 CLASON

Upsala Lakareförhandl. VII. Hofmann-Schwalbe S. 182 (1872)

34 COE, F.O., BICKHAM, C.E. and EDWARDS, C.
The duodenal loop.
Amer. J. Roentgenol. 89:819-824 (1963)

35 COLLARD, M. J.
Radiocinématographie du duodénum inférieur.
Valeur diagnostique de la stase du genu inférius.
Arch. Mal. Appar. dig. 48:1533 (1959)

36 CROSBY, W. H.
The control of iron balance by the intestinal mucosa.
Blood 22:441-449 (1963)

37 DAVENPORT, H. W.
Physiology of the digestive tract.
Year book medical publishers inc. 2d Edition Chicago 1966

38 DE FINE LICHT, E.
Arteriomesenteric obstruction of the duodenum in adult life and adolescence.
Acta Radiol. 45:441-451 (1956)

Cineroentgenography in duodenal obstruction.
Acta Radiol. 56:481-487 (1961)

39 DOTT

Brit. J. Surg. 11:251 (1923/24)

40 FORELL, M. M., STAHLHEBER, H. und FRITZ, H.
Galle als Reiz der Enzymsekretion des Pankreas.
Dtsch. Med. Wschr. 90:1128-1132 (1965)

41 FRIEDMAN, E., WOLF, B. S., WAYE, J. D. and JANOWITZ, H. D.
Correlation of cineradiographic and intraluminal pressure change in the human duodenum:
An analysis of the functional significance of monophasic waves.
Gastroenterology 37:49 (1965)

42 FRAZER and ROBBINS

J. of Anat. 51, 1, 75 (1915)

43 GERHARTZ
Die Abzehrung in ihrer Bedeutung für den arteriomesenterialen Duodenalverschluß.
Ärztl. Wschr. 609 (1947)

44 GLASSOW, R. B.
Sportliche Bewegungsabläufe filmisch analysiert.
Mitt. in Medical Tribune 1969 über den Kurs für Sportmedizin der American Academy of Orthopaedic Surgeons - Oklahoma City

45 GOERTTLER, K.
Der konstruktive Bau der menschlichen Darmwand.
Gegenbaurs Morph. Jb. 69:329 (1932)

46 GOIN, L. and WILK, S. P.
Intermittent arteriomesenteric occlusion.
Radiology 67:729 (1956)

47 GOLDEN, R.
Diagnostic Roentgenology
Vol. II Roentgen-ray exam ination of the digestive tract.
Williams & Wilkins Comp. Baltimore 1961

48 GRAN, H.
Zur Physiologie von Verdauung und Resorption unter besonderer Berücksichtigung des Duodenum.
Diss. aus der II. Med. Klinik der Universität München 1968

49 GROH, H. und BAUMANN, W.
Über einige Grundfragen biomechanischer Untersuchungen.
Med. Welt 22:275-280 (1971)

50 GREVSTEN, S., JOHANSSON, H. and NYLANDER, G.
Analysis of a quantitative method of evaluation as applied to the propulsive gastrointestinal motility in the rat.
Acta Chir. Scand. 133:563-567 (1967)

51 GROEDEL, F. M.
Die Magenbewegungen.
Fortschr. Röntgenstr. Erg. 27:38 ff. Lucas Gräfe & Sillem Hamburg 1912

52 HANSEN, K. und VON STAA, H.
Reflektorische und algetische Krankheitszeichen der inneren Organe
G. Thieme Verlag Leipzig 1938

53 HESS, W.
Klinische Pathologie der Papilla VATERI
Schweiz. med. Wschr. 85:495 (1955)

54 HEUCK, F., ANSCHÜTZ und SCHWARZKOPF
Ein röntgenkinematographisches Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Blutstromvolumens.
Fortschr. Röntgenstr. 98:428 (1963)

Vortrag geh. 12. Tagung d. Österr. Gesell. f. Röntgenol.
Mitt. in Medical Tribune Nr. 22, S. 3 (2.6.1970)

55 HOLZKNECHT, G.
Das normale röntgenologische Verhalten des Duodenum
Zbl. Physiol. 23

Di e Duodenalstenose durch Füllung und Peristaltik erkennbar.
Dtsch. Z. Chirurg. 105, Heft 1 (1910)

56 HUKUHARA, T.
Die normale Dünndarmbewegung (mit Hilfe der Bauchfenstermethode und Kinematographie)
Jap. J. med. Sci. Trans. III Biophysics 2:79-81 (1931)

57 HUNT, J. N.
Some properities of an alimentary osmoreceptor mechanism.
J. Physiol. 132:267 (1956)

The duodenal regulation of gastric emptying.
Gastroenterology 45:149-156 (1963)

58 JANKER, R.
Zur Röntgenkinematographie.
Fortschr. Röntgenstr. 44:658-669 (1931)

--- und NAEGELI, Th.
Experimentell-röntgenologische und röntgenkinematographische Kreislaufstudien.
Dtsch. Z. Chirurg. 232:570 (1931)

Die röntgenkinematographische Darstellung der Pylorus-Gegend und des Bulbus duodeni ohne und mit Bildverstärkung (Bildwandler).
Fortschr. Röntgenstr. 79:104-115 (1953)

Röntgenologische Funktionsdiagnostik
mittels Serienaufnahmen und Kinematographie
W. Girardet Verlag Wuppertal-Elberfeld 1954

59 JORDAN, P. H. and DE LA ROSA, C.
The regulatory effect of the pyloric glad area of the stomach on the intestinal phase of gastric secretion.
Surg. 56:121-134 (1964)

60 JORGENS, J., KIESEL, I. O. and LEONARD, J. P.
A cinefluorographic study of the duodenum.
Acta Radiol. 56:481-487 (1968)

61 KAESTLE, C., RIEDER, H. und ROSENTHAL
Über kinematographisch aufgenommene Röntgenogramme der inneren Organe des Menschen.
Münch. med. Wschr. 6:280 (1909)

KAESTLE, C.
Ein Beitrag zur Kenntnis der Duodenalperistaltik und des Massentransportes im Duodenum.
Fortschr. Röntgenstr. 30:578 (1922)

Röntgentaschenbuch Bd. 9 1924

Zur Geschichte der Röntgenkinematographie (Bioröntgenographie) und ihre Leistungen.
Fortschritte. Röntgenstr. 56:144-148 (1937)

62 KAPANDJI, M.
Les dyskinésies duodéno-biliaires
Arch. Mal. Appar. dig. 9 bis, 44 (1955)

63 KATSCH, G.

Fortschr. Röntgenstr. 21:159 (1913)

64 KERSCHER

Diss. aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München 1970

65 KIA-NOURI, M.
Duodenal stasis and dilatation. Report of 4 cases.
J. int. Coll. Surg. 43:481-487 (1965)

66 KLEF
Duodenum
Kurzbericht vom 8. Internat. Gastroenterologie-Kongreß Prag 1968
in Med. Welt 10:540 (1969)

67 KOSAKA, T. and LIM, R. K. S.
Demonstration of a humoral agent in fat inhibition of
gastric secretion.
Proc. Soc. Exper. Biol. &Med. 27:890 (1930)

On the mechanism of the inhibition of gastric motility by fat.
An inhibitory agent from the intestinal mucosa
Chinese J. Physiol. 7:5 (1933)

68 LANDOR, J. H. and ADAMS, L. A.
Pancreatic duct ligation and gastric secretion.
Surg. Forum 13:292-294 (1962)

The effect of extragastric vagotomy on Heidenhain-pouch
secretions in dogs.
Amer. J. Dig. Dis. 9:256-262 (1964)

69 LENZ, H.
Die Peristaltik des Dünndarms im Röntgen-Kinobild.
Fortschr. Röntgenstr. 91:287-298 (1959)

Die Pendelbewegungen des Dünndarms im Röntgen-Kinobild.
Fortschr. Röntgenstr. 92:301-307 (1960)

— und KREPPEL, E.
Röntgenkinematographische Untersuchungen über das Verhalten
der Dünndarmmotorik bei der Katze unter Prostigmin, Pilocarpin
und Arecolin.
Fortschr. Röntgenstr. 102:268-277 (1965)

— und DÜX, A.
Zur Röntgendiagnostik der chronischen arteriomesenterialen
Duodenalkompression
Fortschr. Röntgenstr. 111:230-241 (1969)

Die Diagnostik der arteriomesenterialen Duodenalkompression
mittels hypotoner Duodenographie, Mesenteriographie und
Röntgenkinematographie.
Schweiz. med. Wschr. 100:109-112 (1970)

70 LOB, A.
Erfahrungen und Ergebnisse röntgenkymographischer Untersuchungen
am Magen und Duodenum.
Fortschr. Röntgenstr. 56:698-705 (1937)

71 LOWELL, S., GOIN und WILK, S. P.
Intermittent arteriomesenteric occlusion of the duodenum.
Radiology 67:729 (1956)

72 MALL, F.

Arch. f. Anat. u. Physiol. anat. Abtlg. Suppl. Bd. S. 403 (1897)

73 MECRAY, P. M. and MULFORD, P.
A study of the movements of the duodenum with special reference to antiperistalsis
Master's thesis University of Minnesota, Minneapolis 1939 p. 35
Amer. Journ. Digest. Dis. 8:76 (1941)

74 MENGUY, R.
Studies on the role of pancreatic and biliary secretions of gastric inhibition by fat.
Surgery 48:195-200 (1960)

75 MIZRAY, L.
La stase duodénal chronique.
Classification et radiologie
J. Radiol. Electrol. 42:650-654 (1961)

76 MONTANARA, A., SALOMONI, E. et SQUILLACI, S.
Dei cosidetti movimenti antiperistaltici del duodeno.
Esplorazione roentgencinematografica e pressoria simultanea.
Radiol. med. (Torino) 11:312-327 (1963)

Osservazioni roentgencinematografiche nelle discinesie duodenali.
Communic. XIII. Cong. Soc. Ital. Gastroenter. Bologna Maggio 1959

Rilievi sulla motilita duodenale
Communic. V. Congrés de Radiologue de Culture Latine
Paris, Juillet 1961

77 MORGAN, R. G. H.
The effect of diverting bile and pancreatic juice on the inhibition of gastric motility by duodenal stimuli in the unaestetized rat.
Quart. J. Exp. Physiol. 48:273-277 (1963)

78 NASSET, E. S.
Amino acids in gut contents during digestion in the dog.
J. Nutr. 76:131-134 (1962)

The role of the digestive tract in protein metabolism.
Amer. J. Dig. Dis. 9:175-190 (1964)

79 NIEDNER
Resistenz der Duodenalschleimhaut
Tagungsbericht vom 8. Internat. Gastroenterologie-Kongreß Prag 1968
in Med. Klinik 63:2129 (1968)

80 NOIX, M.
Etude quantitative du mouvement chronoradiocinématographie-précision de l'image.
J. Radiol. Electrol. 38:531-537 (1957)

81 OCHSNER, H. C.
The roentgenologic diagnosis of periduodenal and extraduodenal lesions.
Amer. J, Roentgenol. 45:718-723 (1941)

82 PAVLOV, I. P.
The work of the digestive glands (trans. W. H. Thomas)
2d Ed. Griffin London 1910

Conditioned reflexes (trans. G. V. Anrep)
Oxford University Press New York 1927

83 PINCUS, I. J., THOMAS, J. E. and REHFUSS, M.D.
A study of gastric secretion as influenced by changes in duodenal acidity.
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 51:367-368 (1942)

84 REYNOLDS, R.
Cineradiography
Brit. J. Radiol. 7:415-424 (1934)

85 RIECK, J.
Kinotechnik 1954 S. 8 - 9, 42-43
1958 S. 58-60
Research Film Vol. 2, 6:300-304 (1957)
Vol. 2, 1: 24-30 (1955)

86 RIEDER, H.
Beiträge zur Topographie des Magen-Darmkanals beim lebenden Menschen nebst Untersuchung über den zeitlichen Ablauf der Verdauung.
Fortschr. Röntgenstr. 8

Organische Stenose der Pars superior duodeni
Acta Radiol. 35:340-357 (1927)

Antiperistaltik und rückläufige Inhaltsverschiebungen
Fortschr. Röntgenstr. 35:891-912 (1927)

87 RUTISHAUSER, W.
Evaluation of roentgen cinedensitometry for flow measurement in models and in the intact circulation.
Circulation Vol. 36, p. 951 (1967)

88 SALOMONI, E.
Prime osservazioni sui tipi di motilita del duodeno e del digiuno.
Rass. ital. Gastroenter. 5:370 (1959)

Méthode de Turano pour l'etude des fonctions motrices des viscères musculaires creux.
(Exploration simultanée roentgencinématographique et des pressions)
J. Radiol. Electrol. 46:707-720 (1965)

89 SAUVEGRAIN, J. et LEFEBRVE, J.
Etude radiocinématographique de la kinésie de l'estomac et du franchissement antro-pyloro-duodénal.
X. Congrés International de Radiologie Montrèal 1962

La kinésie normale de la portion horizontale de l'estomac et ses rapports avec le passage duodénaux.
Arch. Mal. Appar. dig. 49:970-980 (1960)

—, —, FORTIER-BEAULIEU, M. et NAHUM, H.
Les mouvements du duodénum étudiés en radiocinéma.
Ann. Radiol. 7:511-517 (1964)

90 SCHERMULY, W.
Passagerer arterio-mesenterialer Darmverschluß als Ursache ungeklärter Bauchschmerzen.
Kinderheilkunde 78:197 (1956)

91 SCHMID, F.
Der arteriomesenterielle Duodenalverschluß
Fortschr. d. Med. - Das Krankheitsbild 8 (1967) -

92 SCHMIDT, H.
Über den Einfluß der Atmung auf die vegetativ gesteuerten Bewegungsvorgänge an Magen und Duodenum.
Med. Welt 47:2839-2844 (1967)

93 SCHWARZ, G.
Die Sonderstellung der Pars horizontalis superior duodeni in röntgenologischer und anatomischer Beziehung.
Berl. Klin. Wschr. Nr. 24 (1908)

94 SIMON, M. and LERNER, M. A.
Duodenalcompression by mesenteric root in acute pancreatitis and inflammatory conditions of bowel.
Radiology 79:75-81 (1962)

95 SIRCUS, W.
Studies on the mechanism in the duodenum inhibition gastric secretion.
Quart. J. Exp. Physiol. 43:114-133 (1958)

The intestinal phase of gastric secretion
Quart. J. Exper. Physiol. 38:91-100 (1953)

96 SORKIN, S. Z.
Die Röntgenkymographie des Bulbus duodeni.
Fortschr. Röntgenstr. 51:35-38

97 STENZEL, B.
Röntgenkinematographische Geschwindigkeitsmessungen am Magen
Diss. aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München 1969

98 STIEVE, F. E.
Über die Dominante im Röntgenbild
Fortschr. Röntgenstr. 87:80 (1957)

Untersuchungen über das Zustandekommen der Überstrahlung in den randnahen Abschnitten von Röntgenaufnahmen.
Fortschr. Röntgenstr. 90:126 (1959)

—— und WIDENMANN, L.
Über Kontrastbegriffe in der Radiologie und ihre Definition
Röntgenblätter 20:131-147 (1967)

Zur Analyse von Bewegungsvorgängen in der Röntgendiagnostik.

99 STUMPF, P., WEBER, H. H. und WELTZ, G. A.
Röntgenkymographische Bewegungslehre innerer Organe
G. Thieme Verlag Leipzig 1936

100 SWART, B.
Duodenum und Nachbarschaft -Tonus- und Peristaltikstörungen-

101 TESCHENDORF, W.
Zur Differentialdiagnose einiger normaler und krankhafter Vorgänge am Duodenum im Röntgenbilde
Dtsch. med. Wschr. Nr. 35 (1925)

Der gesunde und krankhafte Zwölffingerdarm im Röntgenbilde
Ergeb. d. inn. Med. u. Kinderheilk. Nr. 1 (1926)

102 THOMAS, J. E.
Digestion and the nervous system.
A review of the literature
Amer. J. Digest. Dis. 6:201 (1943)

Mechanics and regulation of gastric emptying.
Physiol. Rev. 37:453 (1957)

103 TOL, T. and OOSTERKAMP, W.
Visibility of X-ray quantum fluctuations on image intensifier radiographs.
Nature London 174:397-398 (1954)

104 TORGENSEN, J.
The muscular build and movements of the stomach and duodenal bulb.
Acta Radiol. (Stockholm) Suppl. 45 (1942)

105 TRENDELENBURG, P.
Arch. exper. Path. 81:55 (1917) in Bethe-Bergmann: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. III, S. 452 (1927)

106 WACHNER, G. und BARTSCH, J.
Bisherige Beobachtungen der Funktion des Duodenum.
Fortschr. Röntgenstr. 56:60-65 (1937)

107 WAGEMANN, M.

Diss. aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München 1969

108 WHEBY, M. S., JONES, L. G. and CROSBY, W. H.
Studies on iron absorption:
Intestinal regulatory mechanisms.
J. Clin. Invest. 43:1433-1442 (1964)

109 WILHELM, G. und SCHAAF, J.
Zur Analyse von Bewegungsvorgängen am karzinomatösen Magen.
Radiol. Clin. (Basel) 28:160-174 (1959)

110 WILHELM, M. und RICHTER, H.
Röntgendiagnostik inkompletter Duodenalstenosen
Med. Welt 43:2572-2575 (1967)

Herrn Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens danke ich für die Übernahme des Korreferates und die kritische Durchsicht dieser Arbeit.

Mein ganz besonderer, herzlicher Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. F. E. Stieve für die Überlassung dieses Themas sowie für die fortwährende Bereitschaft, mir mit Rat und Kritik bei den experimentellen Untersuchungen und der endgültigen Abfassung dieser Arbeit zu helfen.

Großen Dank schulde ich Frl. L. Widenmann, MTA für die Beratung während der Versuche und die abschließende Durchsicht dieser Arbeit, sowie Frl. U. Witte, Photographin für die Unterstützung auf photographischem Gebiet.

Lebenslauf

Am 23. 3. 1943 wurde ich als erster Sohn des Fabrikanten Johann Grosse-Wilde und seiner Ehefrau Paula, geb. Haar in Dessau/Sachsen-Anhalt geboren.

Von 1949 bis 1953 besuchte ich die Richard-Wagner-Grundschule in Bottrop/NRW und von 1953 bis 1963 das Städt. Jungengymnasium Bottrop (Humanistischer Zweig).

Am 4. 3. 1963 bestand ich die Reifeprüfung.

Nach vorzeitiger Entlassung aus der Bundeswehr studierte ich von 1964 bis 1970 an der Ludwig-Maximilian Universität München Humanmedizin.

Das Staatsexamen legte ich am 4. 6. 1970 ab.

Vom 1. bis 31. 8. 1970 arbeitete ich am Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und Röntgenologie der Universität München und vom 1. 9. bis 31. 12. 1970 in der Chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses München-Perlach als Medizinalassistent.